

**PROPUESTA DE DISEÑO DE PUENTE PEATONAL SOBRE LA AV. BOYACÁ  
CON CALLE 12B.**

**NATHALIA ZAMBRANO MONTIEL  
WILDER ALEXANDER JUNCO PIÑEROS**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO DE GRADO  
BOGOTÁ D.C.  
2020**

**PROPUESTA DE DISEÑO DE PUENTE PEATONAL SOBRE LA AV. BOYACÁ  
CON CALLE 12B.**

**NATHALIA ZAMBRANO MONTIEL  
WILDER ALEXANDER JUNCO PIÑEROS**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Director  
CAMILO HIGUERA FLÓREZ  
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL  
TRABAJO DE GRADO  
BOGOTÁ D.C.  
2020**



## Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:  
**Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)**  
Para leer el texto completo de la licencia, visita:  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

### Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra  
hacer obras derivadas


### Bajo las condiciones siguientes:



**Atribución** — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



**No Comercial** — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	<b>FECHA: 2020</b> <b>VERSIÓN 0</b>
---	---	--

## NOTA DE ACEPTACIÓN:

---



---



---



---



---



---

**Firma del presidente del jurado**


---

**Firma jurado**

---


**Firma jurado**

**BOGOTÁ D.C, diciembre, 2020**

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

## DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a nuestros padres Gloria y Jairo, Caterine y Uriel, por su apoyo, incondicional y por los valores, la valentía y fortaleza que nos inculcaron, ya que gracias a esto pudimos sacar adelante esta tesis.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios, por concedernos la vida, por darnos la fortaleza para permitirnos llegar hasta este punto en nuestra carrera profesional, a nuestras familias por ser ese pilar incondicional en cada paso de nuestras vidas, por su inmenso amor y por toda la motivación que nos brindaron y que no nos permitió desfallecer en este gran intento, este nuevo logro es en gran parte gracias a ellos, hemos logrado dar finalidad a este proyecto que en un principio parecía interminable y que gracias a ellos y a Dios logramos terminar.

Agradecemos también a nuestro director el ingeniero Héctor Camilo Higuera, por su colaboración, compromiso, dedicación y entera paciencia que nos brindó a lo largo del camino, por sus asesorías que nos permitieron culminar este logro.

Finalmente agradecemos a todos nuestros formadores que fueron de gran apoyo a lo largo de la carrera, quienes nos brindaron las bases para emprender en este mundo profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO .....	17
INTRODUCCIÓN .....	19
1 GENERALIDADES .....	20
1.1 ANTECEDENTES .....	20
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	23
1.2.1 Descripción del problema .....	27
1.2.2 Formulación del problema .....	33
1.3 OBJETIVOS .....	34
1.3.1 Objetivo general. ....	34
1.3.2 Objetivos específicos.....	34
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	34
1.5 MARCO REFERENCIAL.....	37
1.5.1 Marco teórico.....	37
1.5.2 Marco conceptual .....	40
1.5.3 Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD – CCP 14 .....	42
1.5.4 Marco legal.....	43
1.6 METODOLOGÍA .....	44
1.6.1 Recopilación de información de obras similares en la AV. Boyacá .....	44
1.6.2 Análisis de los datos recopilados .....	44
1.6.3 Definición del diseño arquitectónico del puente .....	44
1.6.4 Software de diseño y modelado geométrico .....	44
2 PREDIMENSIONAMIENTO .....	45

3	ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS .....	51
3.1	Alternativas .....	51
3.2	Selección de la alternativa .....	57
4	ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA .....	58
4.1	ANÁLISIS Y DISEÑO DEL TABLERO .....	58
4.1.1	Predimensionamiento.....	58
4.1.2	Análisis Estructural .....	59
4.1.3	Diseño Estructural .....	61
4.2	ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIGAS.....	63
4.2.1	Viga postensada de 27.5m .....	63
4.2.2	Viga postensada de 20.0 m .....	89
5	DISEÑO DE LOS ACCESORIOS.....	115
5.1	NEOPRENO .....	115
5.1.1	Diseño del apoyo.....	115
5.1.2	Cálculo del acortamiento de la viga .....	116
5.2	RAMPAS.....	117
5.2.1	Predimensionamiento.....	118
5.2.2	Análisis Estructural .....	118
5.2.3	Diseño Estructural .....	120
5.3	ESCALERAS .....	124
5.3.1	Predimensionamiento.....	124
5.3.2	Análisis Estructural .....	125
5.3.3	Diseño Estructural .....	127
5.4	BARANDA.....	130
5.4.1	Diseño del poste.....	130
5.4.2	Diseño de los tubos .....	132
5.4.3	Diseño de los anclajes.....	132





**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
**de Colombia**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO

PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL  
EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B

FECHA: 2020  
VERSIÓN 0

6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	134
6.1	CONCLUSIONES .....	134
6.2	RECOMENDACIONES .....	134
7	BIBLIOGRAFÍA .....	136

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los escenarios espaciales identificados. ....	21
Tabla 2. Elementos de prevención y puentes cerca de la zona de interés. ....	30
Tabla 3. Construcciones aledañas a la zona de interés.....	30
Tabla 4. Conteo peatonal, primera franja.....	46
Tabla 5. Conteo peatonal, segunda franja. ....	47
Tabla 6. Nivel de servicio para andenes y senderos peatonales. ....	48
Tabla 7. Nivel de servicio para peatones intersección semaforizada.....	48
Tabla 8. Presupuesto general alternativa 1. ....	52
Tabla 9. Presupuesto general alternativa 2. ....	54
Tabla 10. Presupuesto general alternativa 3. ....	55
Tabla 11. Presupuesto general alternativa 4. ....	57
Tabla 12. Geometría del puente. ....	64
Tabla 13. Geometría de la viga postensada. ....	65
Tabla 14. . Ancho efectivo de la sección compuesta. ....	66
Tabla 15. Propiedades de la sección simple y de la sección compuesta.....	66
Tabla 16. Carga muerta y sobreimpuesta.....	68
Tabla 17. Esfuerzos límites.....	69
Tabla 18. Resumen cortantes y momentos. ....	72


 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

Tabla 19. Solicitaciones en el centro de la luz. ....	72
Tabla 20. Determinación de fuerza de pre esfuerzo. ....	74
Tabla 21. Primer tensionamiento. ....	75
Tabla 22. Trayectoria de los cables. ....	76
Tabla 23. Esfuerzos y coeficientes Etapa I. ....	77
Tabla 24. Verificación de esfuerzos Etapa I. ....	78
Tabla 25. Esfuerzos y coeficientes Etapa II. ....	79
Tabla 26. Verificación de esfuerzos Etapa II. ....	79
Tabla 27. Esfuerzos y coeficientes Etapa III. ....	80
Tabla 28. Verificación de esfuerzos Etapa III. ....	81
Tabla 29. Cálculo de longitud y alargamiento. ....	82
Tabla 30. Cálculos de las pérdidas de fricción, curvatura y penetración de cuña. ....	83
Tabla 31. Cálculos de las pérdidas de presfuerzo en el tensionamiento. ....	85
Tabla 32. Refuerzo mínimo. ....	87
Tabla 33. Momentos de fisuración, resistente y último. ....	87
Tabla 34. Refuerzo de retracción y temperatura. ....	88
Tabla 35. Diseño a cortante. ....	89
Tabla 36. Geometría del puente. ....	90
Tabla 37. Geometría de la viga. ....	90
Tabla 38. Ancho efectivo de la sección compuesta. ....	91
Tabla 39. Geometría de la viga postensada. ....	92


 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

Tabla 40. Carga muerta y sobreimpuesta.....	93
Tabla 41. Esfuerzos límites.....	95
Tabla 42. Resumen de cortantes y momentos. ....	95
Tabla 43. Solicitaciones en el centro de la luz. ....	97
Tabla 44. Determinación de la fuerza de presfuerzo. ....	100
Tabla 45. Primer tensionamiento. ....	100
Tabla 46. Trayectoria de los cables. ....	101
Tabla 47. Esfuerzos y coeficientes Etapa I.....	103
Tabla 48. Verificación de esfuerzos Etapa I.....	103
Tabla 49. Esfuerzos y coeficientes Etapa II.....	104
Tabla 50. Verificación de esfuerzos Etapa II.....	105
Tabla 51. Esfuerzos y coeficientes Etapa III.....	106
Tabla 52. Verificación de esfuerzos Etapa III.....	106
Tabla 53. Longitud y alargamiento de los cables de presfuerzo. ....	107
Tabla 54. Pérdidas por fricción, curvatura y penetración de cuña. ....	108
Tabla 55. Pérdidas por fricción, curvatura y penetración de cuña. ....	111
Tabla 56. Refuerzo mínimo.....	113
Tabla 57. Momentos de fisuración, resistente y último. ....	113
Tabla 58. Diagrama de verificación de la resistencia última. ....	113
Tabla 59. Refuerzo de retracción y temperatura.....	114
Tabla 60. Diseño a cortante.....	114

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Actores Viales involucrados en los incidentes viales (9 agosto a 16 septiembre del 2019). .....	22
Figura 2 Cifras de accidentes en la AV. Boyacá entre la Calle 9 y Calle 13 (2015 - 2019).....	23
Figura 3. Número de muertes por accidentes de tránsito en el mundo.....	24
Figura 4. Tasa estimada de mortalidad causada por el tránsito (por 1000.000 habitantes) por país. ....	24
Figura 5. Accidentes de Tránsito (casos). Colombia, 2005 - 2014.....	25
Figura 6. Muertes asociadas al transporte, por ciudad. ....	26
Figura 7. Víctimas fatales en Bogotá. ....	27
Figura 8. Localización del proyecto.....	28
Figura 9. Ubicación elementos de prevención primaria. ....	29
Figura 10 Sectorización de la zona de interés. ....	31
Figura 11. Velocidades promedio día típico 06:30 – 07:30 horas. (a) velocidades promedio por corredor Norte - Sur, (b) velocidades promedio por corredor Sur – Norte. ....	32
Figura 12 .Velocidades promedio día sábado 17:30 – 18:30 horas. (a) velocidades promedio por corredor Norte - Sur, (b) velocidades promedio por corredor Sur – Norte. ....	33
Figura 13. Pirámide de jerarquía de la movilidad urbana.....	35
Figura 14. Inventario de puentes. ....	36


 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

Figura 15. Distribución de los materiales de las pilas de la red vial nacional. [20]	40
Figura 16. Superestructura en concreto.....	52
Figura 17. Superestructura en vigas metálicas y concreto. ....	53
Figura 18. Superestructura viga cajón en concreto reforzado. ....	55
Figura 19. Superestructura en vigas de concreto postensado.....	56
Figura 20. Diagrama de momento y cortante para carga muerta.....	59
Figura 21. Diagrama de momento y cortante para carga viva. ....	60
Figura 22. Geometría de la viga postensada .....	65
Figura 23. Modelado SAP 2000 Etapa I. (a) Resistencia I, (b) Servicio I.....	70
Figura 24. Modelado SAP 2000 Etapa II. (a) Resistencia I, (b) Servicio I.....	71
Figura 25. Modelado SAP 2000 Etapa III. (a) Resistencia I, (b) Servicio I.....	71
Figura 26. Trayectoria de los cables.....	76
Figura 27. Diagrama de tensionamiento de los cables con pérdidas por fricción y curvatura.....	83
Figura 28. Diagrama de tensionamiento de los cables con pérdidas por penetración de cuña. ....	84
Figura 29. Diagrama de verificación de la resistencia última. ....	88
Figura 30. Geometría de la viga postensada. ....	91
Figura 31. Modelado SAP 2000 Etapa I. (a) Resistencia I, (b) Servicio I.....	96
Figura 32. Modelado SAP 2000 Etapa II. (a) Resistencia I, (b) Servicio I.....	96
Figura 33. Modelado SAP 2000 Etapa III. (a) Resistencia I, (b) Servicio I.....	97
Figura 34. Trayectoria de los cables.....	102



 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

Figura 35. Diagrama de tensionamiento de los cables con pérdidas por fricción y curvatura.....	109
Figura 36. Diagrama de tensionamiento de los cables con pérdidas por penetración de cuña. ....	109
Figura 37. Geometría de la rampa. ....	117
Figura 38. Diagrama de momentos y cortante carga muerta.....	119
Figura 39. Diagrama de momentos y cortante carga viva.....	119
Figura 40. Diagrama de carga muerta. ....	126
Figura 41. Diagrama de carga viva. ....	127

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Plano General .....	139
Anexo 2. Plano de vigas de 27.50 m .....	140
Anexo 3. Plano de vigas de 20.00 m .....	141
Anexo 4. Plano de tablero de 27.50 m .....	142
Anexo 5. Plano de tablero de 20.00 m .....	143
Anexo 6. Plano de accesorios.....	144
Anexo 7. Cálculo de viga postensada de 27.5 m	
Anexo 8. Cálculo de viga postensada de 20.0 m	
Anexo 9. Modelos numéricos en SAP2000	



 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

## GLOSARIO

**ACERO ESTRUCTURAL:** Empleado para las estructuras de construcciones civiles tales como puentes, casas y armazones, a los cuales se exige buena ductilidad, necesaria no sólo para absorber las puntas de tensión, sino también para poder efectuar fácilmente todas las elaboraciones que implican la deformación plástica del material [1].

**CARGA MAYORADA:** Cargas nominales multiplicadas por el factor de carga apropiado especificado por la combinación de carga bajo consideración. [2]

**CONCRETO:** Mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados unidos en una masa por medio de una pasta de cemento y agua. [1]

**CONCRETO REFORZADO:** Combinación de concreto y acero en la que el refuerzo del acero proporciona la resistencia a la tensión de que carece el concreto. [1]

**CONCRETO PRESFORZADO:** Se define como la imposición a una estructura de esfuerzos internos que son de carácter opuesto a los causados por las cargas de servicio o de trabajo. [1]


**DISEÑO:** Dimensionamiento y detallado de los elementos y conexiones de un puente. [2]

**ESTADO LÍMITE:** Condición más allá de la cual el puente o componente deja de satisfacer los requisitos para los cuales fue diseñado. [2]

**ESTADOS LIMITE DE RESISTENCIA:** Estados límite que se relacionan con la resistencia y la estabilidad durante el ciclo de vida de diseño. [2]

**ESTADOS LIMITE DE SERVICIO:** Estados límite que se relacionan con las tensiones, deformaciones, y fisuración bajo condiciones regulares de operación. [2]

**FACTOR DE CARGA:** Multiplicador de base estadística aplicado a efectos de fuerzas que considera fundamentalmente la variabilidad de las cargas, la falta de precisión en los análisis, y la probabilidad de la ocurrencia simultánea de

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

diferentes cargas, pero que también se relaciona con aspectos estadísticos de la resistencia a través del proceso de calibración. [2]

**FACTOR DE RESISTENCIA:** Multiplicador de base estadística aplicado a la resistencia nominal que considera fundamentalmente la variabilidad de las propiedades de los materiales, las dimensiones estructurales y la calidad de la mano de obra, unido a la incertidumbre en la predicción de la resistencia, pero que también se relaciona con aspectos estadísticos de las cargas a través del proceso de calibración. [2]


**MÉTODO DE DISEÑO CON FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA [LOAD AND RESISTANCE FACTOR DESIGN (LRFD)]:** Metodología de diseño basada en la teoría de confiabilidad estructural en la cual los efectos de las fuerzas causados por cargas mayoradas no pueden exceder la resistencia de los componentes. [2]

**PUENTE:** Es aquella infraestructura del transporte, cuya finalidad es permitir la continuación de la circulación de peatones (en algunos casos también bicicletas) en condiciones de continuidad en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y de comodidad, permitiendo pasar obstáculos, como ríos, quebradas, otras vías, carreteras, vías férreas, etc. [3]

**RESISTENCIA MAYORADA:** Resistencia nominal multiplicada por un factor de resistencia. [2]

**RESISTENCIA NOMINAL:** Resistencia de un componente o conexión a las sollicitaciones de las fuerzas, según lo indicado por las dimensiones especificadas en los documentos contractuales y por las tensiones admisibles, deformaciones o resistencias especificadas de los materiales. [2]

**SUPERESTRUCTURA:** Conjunto de los tramos que salvan los vanos situados entre los soportes de un puente. [2]


 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

## INTRODUCCIÓN

El presente documento se fundamenta en el diseño y desarrollo de un puente peatonal sobre la AV. Boyacá con calle12B, desde el reconocimiento del problema, hasta la disminución de la accidentalidad y el mejoramiento del flujo vial de la zona.

Los puentes peatonales tienen la función principal de permitir que los peatones pasen de manera segura sobre los obstáculos. A diferencia de los puentes de carreteras y ferrocarriles, los puentes peatonales no solo tienen que conectar dos lugares entre sí por la ruta más corta, sino que los peatones también los experimentan directamente al tocarlos y caminar sobre ellos. Los caminos bien elegidos y las hermosas vistas mejoran las cualidades espaciales de un puente peatonal. Por lo tanto, es aún más importante que los requisitos finales de un puente se analicen y definan exactamente para formar una base individual para su diseño. Además de las propiedades geométricas del puente en sí, como el ancho y el gradiente también debe definirse los requisitos resultantes de los obstáculos que deben cruzarse. [4]

La problemática inicial consiste en el alto índice de accidentalidad que se presenta en el tramo de la AV. Boyacá entre Calle 9 y Calle 13, donde los mayores involucrados son los peatones, adicionalmente los choques entre vehículos, por el alto flujo vehicular que generan represamiento y un aumento en el tiempo de viaje, por tal motivo el proyecto se centra en buscar la mejor solución para reducir dichas dificultades, mediante el diseño que mejor se adapte a la zona a intervenir, cumpliendo con los estándares establecidos en la normatividad legal existente como lo es Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD – CCP 14 y las especificaciones americanas AASHTO LRFD “*Bridge Design Specifications*” [American Association of state Highways and Transportation Officials].

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

# 1 GENERALIDADES

## 1.1 ANTECEDENTES

La seguridad vial ha cumplido un papel importante a lo largo de la historia, tomando estrategias de prevención primaria para mitigar los índices de accidentalidad vial, mediante la ejecución de estructuras en pro de la movilidad del peatón, garantizando la accesibilidad y confort, de tal manera contribuye al desarrollo y crecimiento del lugar donde se disponga la estructura.

En el estudio desarrollado por Universidad Nacional Autónoma de México se identificaron tres escenarios espaciales que presentan la relación de atropellamientos con los puentes peatonales, en el estudio se considera el intervalo de 300 metros como la distancia que un peatón está dispuesto a recorrer sin utilizar transporte público, dichos escenarios son:

1. Puentes peatonales con atropellamientos próximos (a menos de 300 metros)
2. Puentes peatonales sin atropellamientos próximos
3. Zonas con atropellamientos sin puentes peatonales

El hallazgo de estos patrones territoriales permite plantear posibles hipótesis de investigación, la cuales son:

Escenario 1.- No son utilizados los puentes debido a razones diversas como: la posibilidad de cruzar la vía sin utilizar el puente, existe inseguridad, falta de mantenimiento y/o falta de educación cívica de los peatones en esos lugares.

Escenario 2.- Los puentes son utilizados, ya sea porque no existe otra manera de cruzar las vías y/o existe conciencia de la peligrosidad del lugar por parte de los peatones.

Escenario 3.- No existe infraestructura adecuada que permita el cruce seguro de los peatones y/o las velocidades alcanzadas en esas vías impiden el cruce seguro de los peatones. [5].

**Tabla 1.** Resumen de los escenarios espaciales identificados.

	ESCENARIO	No. de PP	% PP	No. de Atropellamientos	% Atr
1	Puentes Peatonales con Atropellamientos a menos de 300 m.	410	66.45%	777	26.68%
2	Puentes Peatonales sin Atropellamientos	207	33.55%	0	0
3	Atropellamientos sin Puentes Peatonales	0	0.00%	2,135	73.32%
	Totales	617	100%	2,912	100%

**Fuente.** Georeferenciación de Puentes Peatonales en Ciudad de México y su Relación con Peatones Atropellados. p. 13.

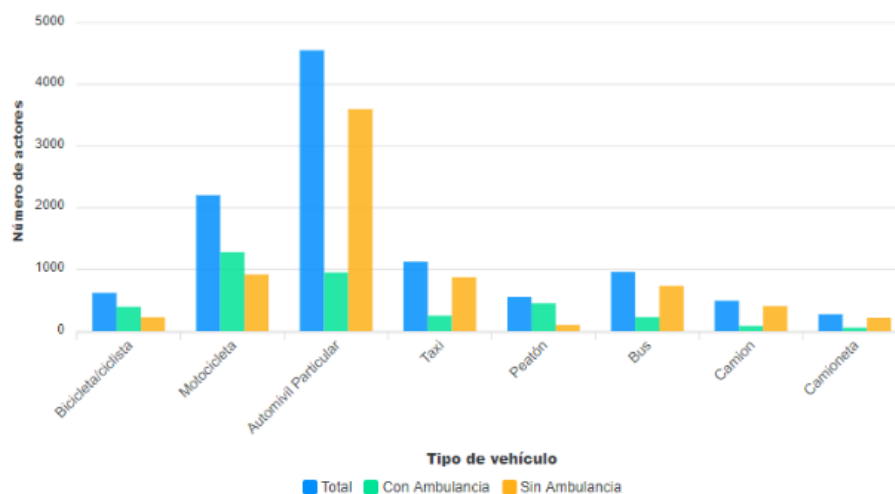
En referencia a la tabla 1, el porcentaje de número de atropellamientos y accidentes de tránsito es relevante en el escenario tres: Atropellamientos sin puentes peatonales, por tal motivo las ejecuciones de los puentes peatonales son de vital importancia, pues disminuyen de manera drástica las víctimas de accidentes de tránsito, como se evidencia en el escenario número dos: Puentes peatonales sin atropellamientos, donde el número de atropellamientos es cero.

En el escenario número uno y número dos radica primordialmente la decisión tomada por el peatón y la ubicación estratégica del puente.

En el caso de Bogotá, desde la inserción de la autopista urbana hacia las décadas centrales del siglo XX como el espacio dominante de la movilidad rodada, los puentes para peatones aparecieron como los conductos más apropiados para cruzar esos obstáculos y, al mismo tiempo, vincular barrios y actividades separadas por la vía. [3]

Los actores involucrados en los incidentes viales para la ciudad de Bogotá D.C, son Ciclistas, motociclistas, automóviles particulares, taxistas, peatones, servicio público y automotores de carga, como se observa en la figura 1, en un estudio de 40 días, comprendido entre el 9 de agosto al 16 de septiembre del 2019, entre las 6:00 am a 9:00 pm, los datos reflejan que, en promedio 14 peatones, 15 ciclistas y 55 motociclistas están involucrados en siniestros viales en Bogotá a diario [6]

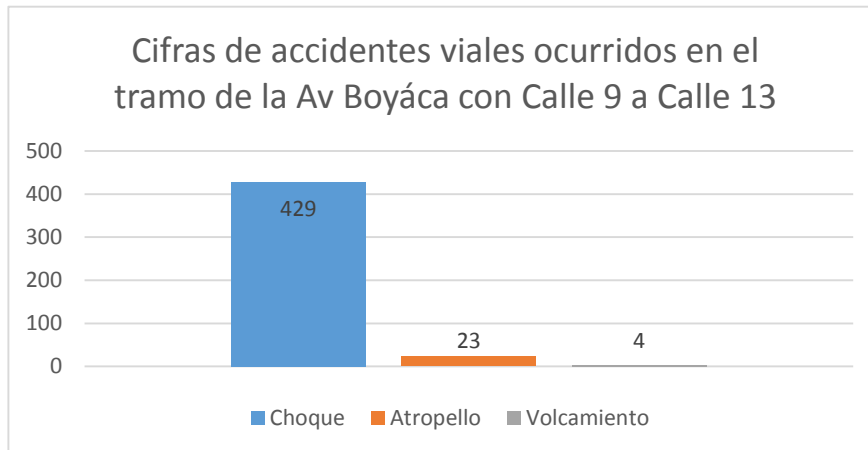
**Figura 1.** Actores Viales involucrados en los incidentes viales (9 agosto a 16 septiembre del 2019). [6]



**Fuente.** Tránsito de Bogotá.

En la figura 2, creada a partir de los datos de siniestros viales [7], se representan las cifras ocurridas desde el año 2015 hasta el año 2019, entre la Av. Boyacá con calle 09 y la Av. Boyacá con calle 13, categorizado con tipo de gravedad que se dividen en: solo daños, con heridos y con muertos, también se categoriza en la clase que se divide en: Choque, Atropello y Volcamiento; Para los choques hay una cifra de 429, para atropello hay una cifra de 23 y para volcamiento hay una cifra de 04, para una totalidad de 456 accidentes de tránsito, los datos son tomados de Secretaría Distrital de Movilidad, 2019.

**Figura 2** Cifras de accidentes en la AV. Boyacá entre la Calle 9 y Calle 13 (2015 - 2019).



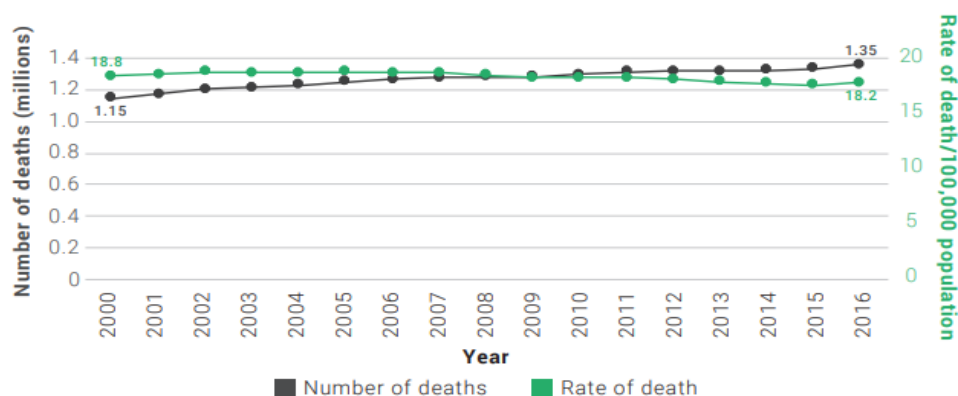
**Fuente.** Los Autores

La distancia que existe entre la Calle 9 hasta la calle 13 sobre la AV: Boyacá es de 1.49 km, se realiza esa acotación porque es una distancia corta para tener una cifra representativa de accidentalidad de 23 atropellamientos.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Según el informe sobre la situación de la seguridad vial de la Organización Mundial de la Salud (OMS), El número de muertes por accidentes de tránsito continúa aumentando, llegando a un máximo de 1,35 millones en 2016 como se observa en la figura 3. A pesar del aumento en números, la tasa de muertes por accidentes de tránsito se ha mantenido constante en los últimos 15 años. Aunque que el problema no está empeorando, el mundo está lejos de alcanzar el objetivo, que exige una reducción en la cantidad de muertes a la mitad para el año 2020. World Health Organization (WHO), 2018.

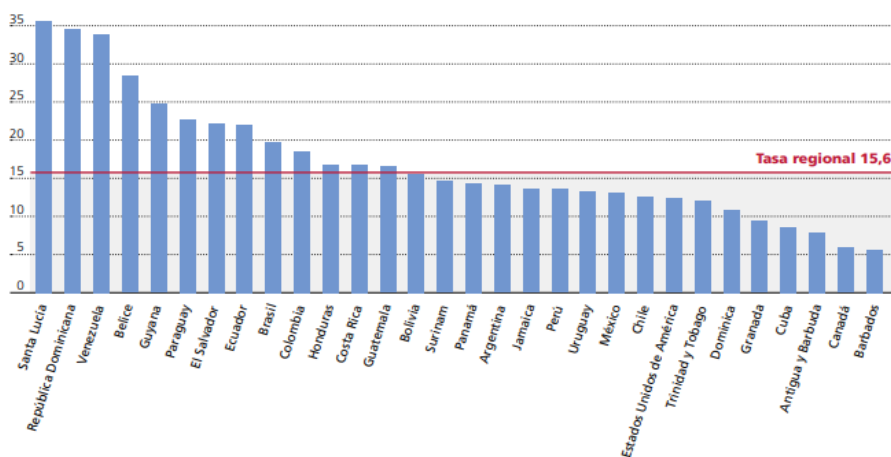
**Figura 3.** Número de muertes por accidentes de tránsito en el mundo. [8]



**Fuente.** WHO, Global Status Report on Road Safety, 2015, p. 340.

En el 2016, se produjeron 154.997 muertes causadas por el tránsito, la tasa de mortalidad por esta causa en la región fue de 15.6 por cada 100.000 habitantes, una cifra inferior a la tasa mundial de 18.2 y la segunda más baja entre las seis regiones de la OMS. Pan American Health Organization (PAHO), 2019.

**Figura 4.** Tasa estimada de mortalidad causada por el tránsito (por 1000.000 habitantes) por país. [9, 10]



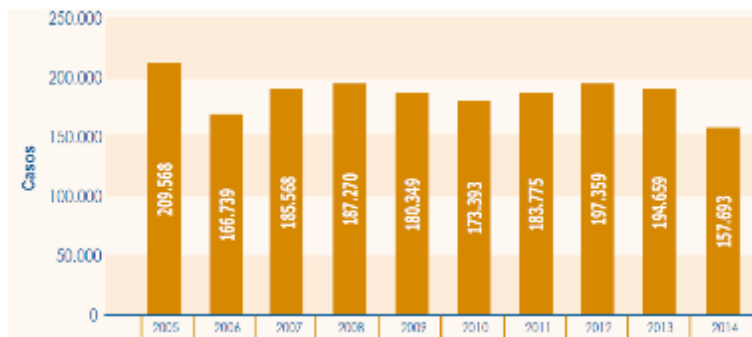
**Fuente.** PAHO, Status of Road Safety in the Region of the Americas, Washington, D.C., 2019



Como se puede observar en la figura 4, Colombia se encuentra por encima de la tasa promedio regional, posicionada en el décimo lugar, por lo cual es necesario tomar medidas para llegar a una tasa igual o inferior a la mínima registrada de mortalidad causada por el tránsito.

En ese contexto, Colombia no es ajena a esta problemática, dadas sus altas cifras de accidentalidad y la tendencia presentada en los últimos diez años (2005 - 2014) la cual muestra una cifra de 1.836.373 accidentes de tránsito para dicho periodo (figura 5), cobrando la vida de 58.121 peatones y dejando lesionadas a 411.9561. Tan solo en el año 2014 se presentaron 157.693 accidentes, en los que fallecieron 6.352 peatones, lo que supone un incremento del 2,1% frente al año 2013 [11]

**Figura 5.** Accidentes de Tránsito (casos). Colombia, 2005 - 2014. [11]



**Fuente.** Min. Transporte, Plan Nacional de Seguridad Vial, 2015.

Bogotá D.C., la capital del país, cuenta con una población de 7.181.469, ubicándose en la primera posición de habitantes a nivel nacional, causando esto un alto índice de muertes por siniestros de tránsito, como se evidencia en la figura 6, ocupando la primera posición en muertes asociadas al transporte, por ciudad.

Entre los años 2014 al 2018 va en descenso, teniendo como promedio de 559 muertes, se evidencia que año tras año no presenta una disminución constante en las fatalidades asociadas al siniestro, debido a que en el periodo entre los años 2014 – 2015 se redujo el número de víctimas, en el año 2016 hubo un aumento en

la cifra, es por este motivo, que no es posible afirmar que la disminución de fatalidades en los años registrados va en descenso constante.

De acuerdo con el Anuario de Siniestralidad vial, se presentan diferentes actores viales a sufrir accidentes los cuales son: peatones, motociclistas, ciclistas, pasajeros y conductores, del cual se determina que la víctima con el porcentaje más alto de probabilidad a estar involucrada en accidentes de tránsito, son los peatones teniendo un porcentaje casi del 50 por ciento.

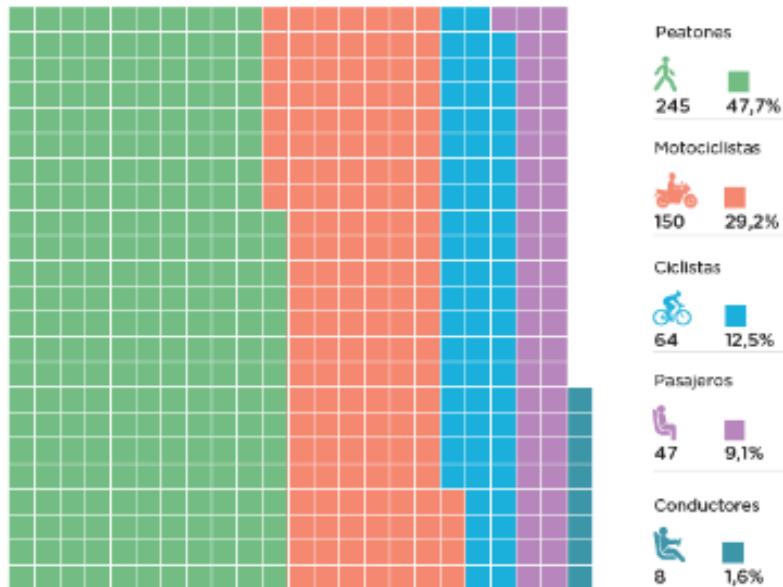
**Figura 6.** Muertes asociadas al transporte, por ciudad. [12]



**Fuente.** Alcaldía de Bogotá, Anuario de Siniestralidad Vial de Bogotá, Bogotá D.C, 2018. P. 21.

El restante del 100% se representa en la figura 7, donde los motociclistas ocupan el 29.2%, los ciclistas ocupan el 12.5%, los pasajeros un 9.1% y finalmente los conductores un 1.6%.

**Figura 7.** Víctimas fatales en Bogotá. [12]



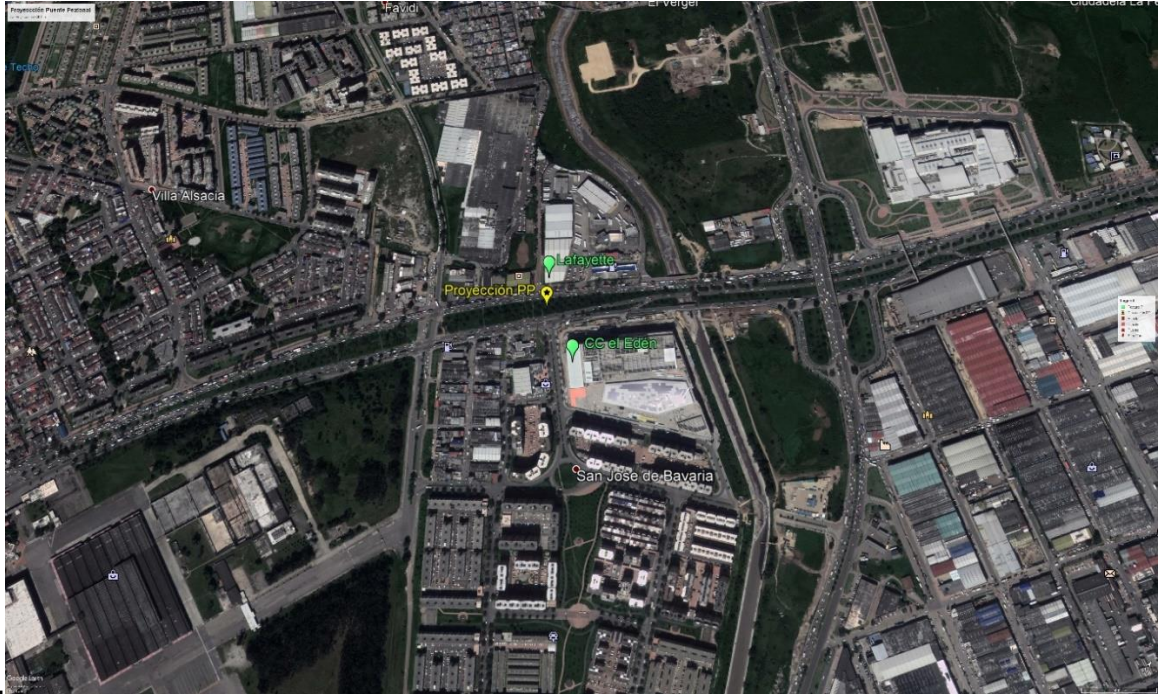
**Fuente.** Alcaldía de Bogotá, Anuario de Siniestralidad Vial de Bogotá, Bogotá D.C, 2018. P. 27.

### 1.2.1 Descripción del problema

#### Localización y descripción del problema

La zona de estudio es la AV. Boyacá (Carrera 72) con Calle 12B, que cuenta con una alta demanda de conjuntos residenciales, esto sumado a la construcción del centro comercial el Edén que pretende ampliar la cobertura comercial del sector, por otro lado se encuentra en el costado occidental de la AV. Boyacá, la fábrica Lafayette que alberga un amplio número de trabajadores y finalmente la intersección de la AV. Boyacá con la Calle 13, vía que conecta municipios aledaños como Mosquera, Funza, Madrid, entre otros con Bogotá.

**Figura 8.** Localización del proyecto



**Fuente.** Google Earth.

### **Ubicación de elementos de prevención primaria cerca de la zona de proyección del PP**

Los elementos de prevención primaria como semáforos y puentes peatonales se encuentran a distancias considerables del sector de proyección del puente peatonal, a través del software de Google Earth Pro, se comprueban las distancias entre cada elemento consignadas en la tabla 2.




**Figura 9.** Ubicación elementos de prevención primaria.



**Fuente.** Google Earth

Se observa en la figura 9, que el semáforo más cercano a la proyección del puente peatonal en el sentido Sur de la AV. Boyacá se encuentra a 23 metros de distancia, etiquetado como Semáforo 1, en este mismo sentido el puente peatonal más cercano se encuentra a una distancia de 2.2 km, etiquetado como Puente B, se debe tener en cuenta que este puente peatonal no se encuentra sobre la AV Boyacá por el contrario se encuentra sobre la AV de la Américas con Carrera 71c, el puente peatonal etiquetado como A se encuentra posicionado a 2.7 km de la proyección del PP, mientras que en el sentido Norte de la AV. Boyacá no hay presencia de semáforos cerca, pero en cuanto a puentes peatonales el más cercano está a una distancia de 67 metros, etiquetado como Puente C.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

**Tabla 2.** Elementos de prevención y puentes cerca de la zona de interés.

.Distancias Obtenidas con Google Earth Pro				
Elemento		Etiqueta	Ubicación	Distancia (km)
Proyección Puente Peatonal	Semáforo	1	Av. Boyacá con Calle 12	0,23
	Semáforo	2	Av. Boyacá con Calle 9	0,99
	Semáforo	3	Av. Boyacá con Calle 8	1,32
	Puente	A	Av. Boyacá con Calle 2a	2,7
	Puente	B	Av. De las Americas con Calle 71c	2,2
	Puente	C	Av. Boyacá con Calle 18	0,67

**Fuente.** Los Autores

### **Demanda del puente peatonal a diseñar**

El entorno del proyecto está compuesto en su mayor extensión por construcciones residenciales, también cuenta con centros comerciales, fábricas y paraderos de Sistema Integrado de Transporte Público (SITP), convirtiéndolo en un escenario favorable para la selección de la zona de construcción del puente. En la tabla 3 se desglosa los conjuntos residenciales, centros comerciales y fábricas y paraderos del Sistema Integrado de Transporte Público.

**Tabla 3.** Construcciones aledañas a la zona de interés.

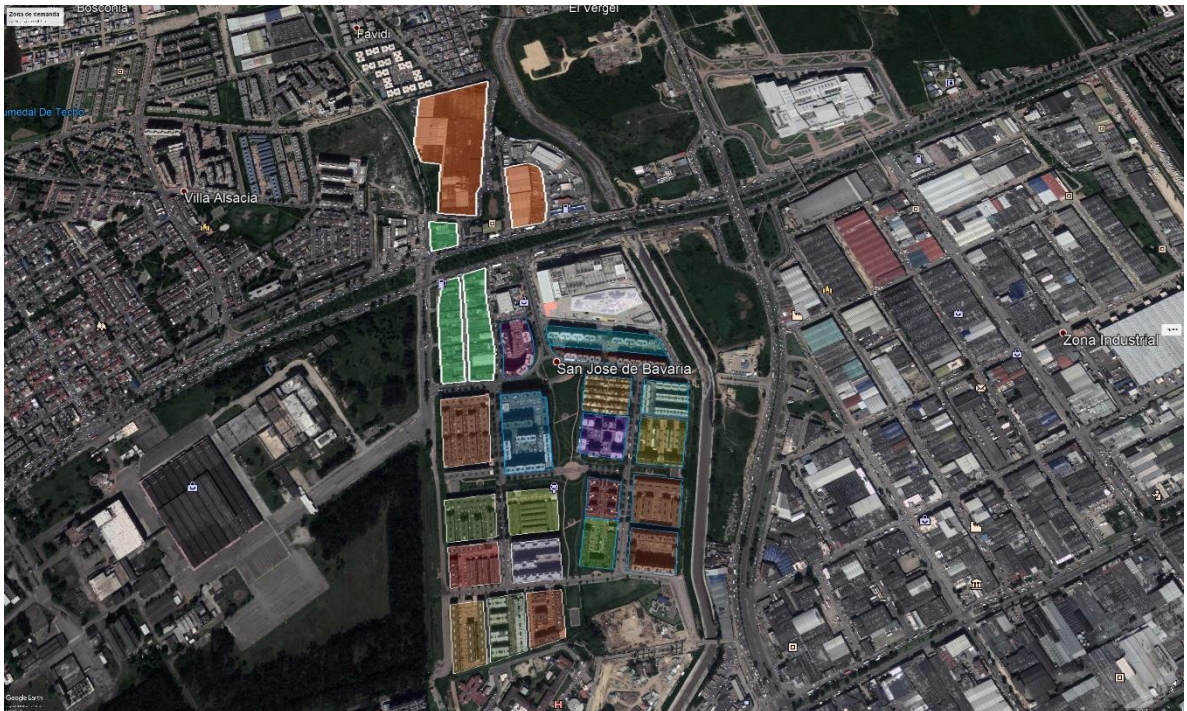
Construcciones Aledañas		
Tipo	Nombre	Dirección
Conjuntos residenciales	Alsacia Reservado 1	Calle 12B #71D-31
	Alsacia Reservado 2	Carrera 71D #12C-60
	Alsacia Reservado 3	Carrera 71F #12D
	Mirador de castilla I	Calle 12A #71C-21
	Mirador de castilla II	Calle 12A #71B 37
	Mirador de castilla III	Calle 12A #71C-61
	Alsacia Real	Calle 12A #71B-41
	Torre de San Marco 12	Calle 12A #71B-40
	Recodo de Alsacia	Carrera 71G #71-12
	Almanza Torre 7	Carrera 71BIS #12-60
	Almanza	Carrera 71B Bis #12-60
	Davinci III	Carrera 71B Bis #12A-40
	Silvana Carvajal Rosario	Calle 12A #71B -40
	Santa Rita de Alsacia	Calle 12C #71B-40
	Santa Maria de Alsacia	Calle 12C #71b-60
	Oviedo apartamentos	Carrera 71C #12 <sup>a</sup>



Construcciones Aledañas		
Tipo	Nombre	Dirección
	Santa Lucia de Alsacia	Calle 12A #71C-60
	Torres de Villa Alsacia	Calle 12C #71C-30
	Davinci	Calle 12C #71B-61
	Atalanta	Calle 12C #71C-31
	Porton de Alsacia	Calle 12C #71C-60
	Alandra	Calle 12C #71C-51
Comerciales	Centro comercial El Edén	AV. Boyacá # 12b
	Centro comercial Bazaar Alsacia	AV. Boyacá # 12 <sup>a</sup>
Fabricas	Lafayette	AV. Boyacá # 12a - 77
	Geomatrix	AV. Boyacá # 12 <sup>a</sup>
	Paradero Barrio Villa Alsacia	AV. Boyacá Cll 12 <sup>a</sup>
	Paradero Barrio Villa Alsacia	AV. Boyacá Cll 12B
	Paradero Barrio Nuevo Techo	AV. Boyacá Cll 12 Bis
	Paradero Barrio Nuevo Techo	AV. Boyacá Cll 12 Bis

**Fuente.** Los Autores

**Figura 10** Sectorización de la zona de interés.

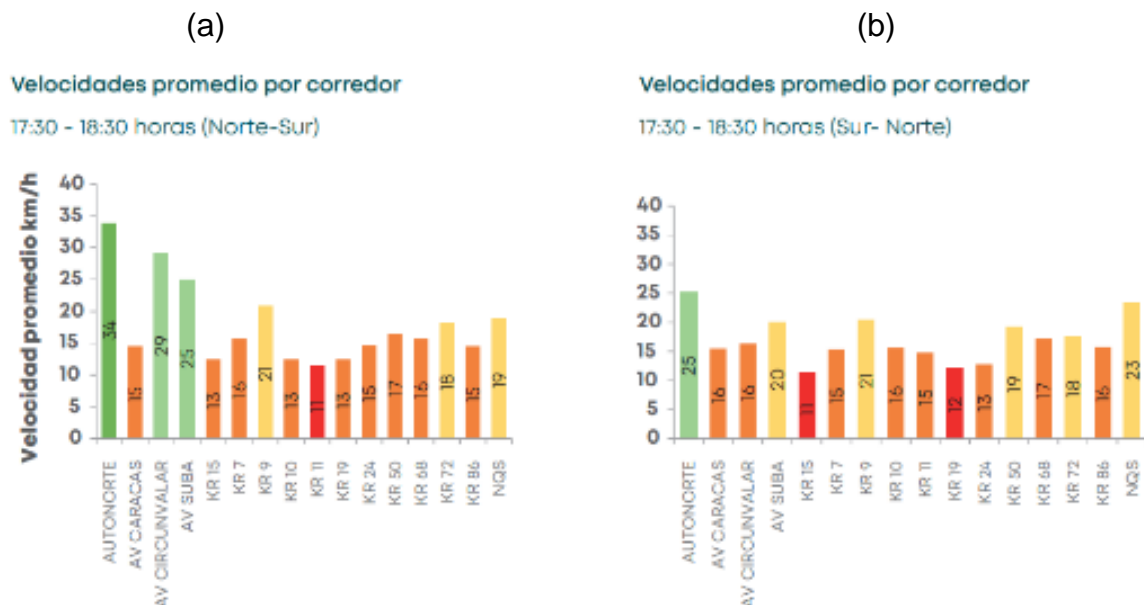


**Fuente.** Google Earth

## Flujo vehicular

La malla arterial no presenta velocidades mayores a los 35 km/h, como se observa en la figura 11 y figura 12, para el caso de la Avenida Boyacá (KR 72), en las horas pico exactamente 17:30 a 18:30, se presenta una velocidad promedio de 18 km/h, lo que causa congestión y aumenta el tiempo de viaje.

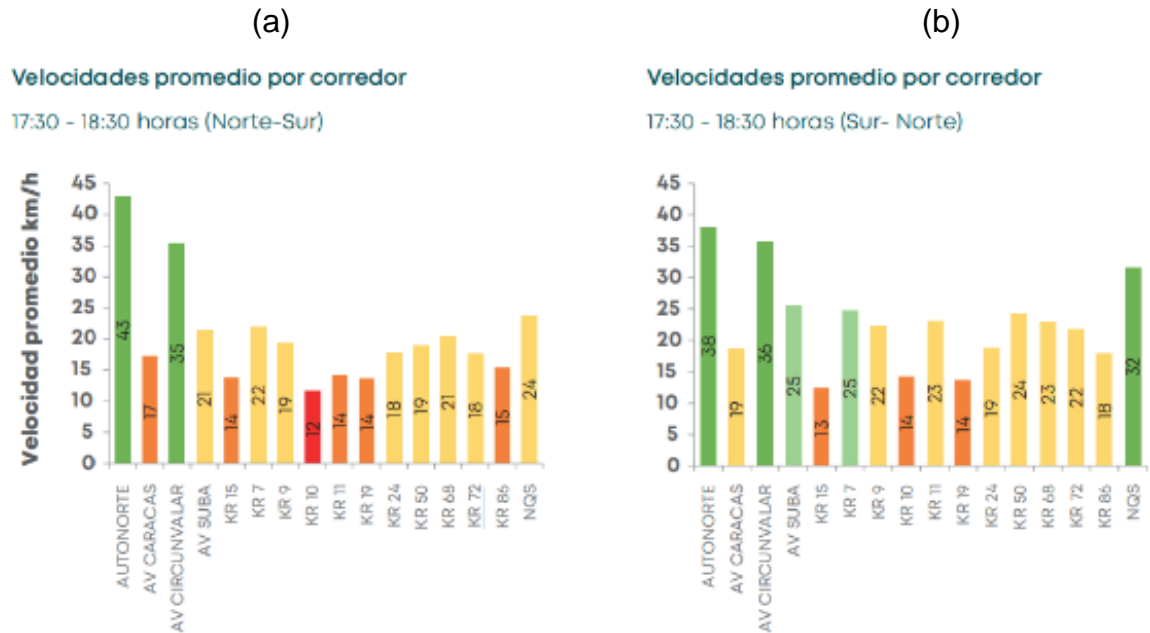
**Figura 11.** Velocidades promedio día típico 06:30 – 07:30 horas. (a) velocidades promedio por corredor Norte - Sur, (b) velocidades promedio por corredor Sur – Norte. [13]



**Fuente.** Secretaría Distrital de Movilidad, Observatorio de Movilidad, 2017. p. 106.



**Figura 12** .Velocidades promedio día sábado 17:30 – 18:30 horas. (a) velocidades promedio por corredor Norte - Sur, (b) velocidades promedio por corredor Sur – Norte. [13]




**Fuente.** Secretaría Distrital de Movilidad, Observatorio de Movilidad, 2017. p. 106.

### 1.2.2 Formulación del problema

Por tanto, para el presente proyecto de grado se plantea la siguiente pregunta de trabajo:

**¿Cómo reducir los índices de accidentalidad en peatones y mejorar el flujo vehicular en la AV. Boyacá con Calle 12B?**

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 *Objetivo general.*

Diseñar un puente peatonal sobre la Avenida Boyacá con Calle 12B, con el propósito de salvaguardar la vida de los peatones y mejorar el flujo vehicular sobre esta arteria vial de la ciudad de Bogotá D.C.

#### 1.3.2 *Objetivos específicos.*

- Determinar la ubicación del puente peatonal y caracterizar la zona mediante estudios topográficos.
- Especificar las propiedades de la zona a intervenir, mediante la revisión de fuentes secundarias tales como estudios de movilidad, estudios de tránsito, y caracterización geotécnica, entre otros.
- Desarrollar la proyección geométrica, arquitectónica del puente peatonal.
- Hacer el diseño estructural del puente peatonal de acuerdo con las indicaciones de la Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP – 14.

### 1.4 JUSTIFICACIÓN

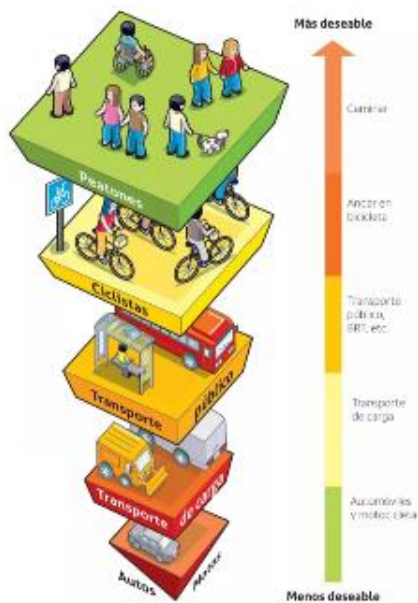
El peatón se puede definir como toda persona que transita a pie por el espacio público o privado, estos mismos tienen prioridad pues el diseño universal aplicado a la movilidad peatonal tiene por objetivo principal facilitar el tránsito del peatón. El entorno construido debe contemplar la posibilidad de ser utilizado por el mayor número de peatones como sea posible, beneficiando a todos los peatones de diferentes edades y capacidades. (Instituto de Desarrollo Urbano (IDU))



De acuerdo con la pirámide de jerarquía de la movilidad urbana del Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, el peatón es quien tiene la prioridad y se superpone cuando se trata de peatones con movilidad reducida o con distintas capacidades.

Como muestra la figura 13, se da prioridad a peatones especialmente a aquellos con discapacidad, niños, adultos mayores, después a ciclistas, seguidos de usuarios de transporte público, transporte de carga, y finalmente automóvil y motociclistas. [14]

**Figura 13.** Pirámide de jerarquía de la movilidad urbana. [14]



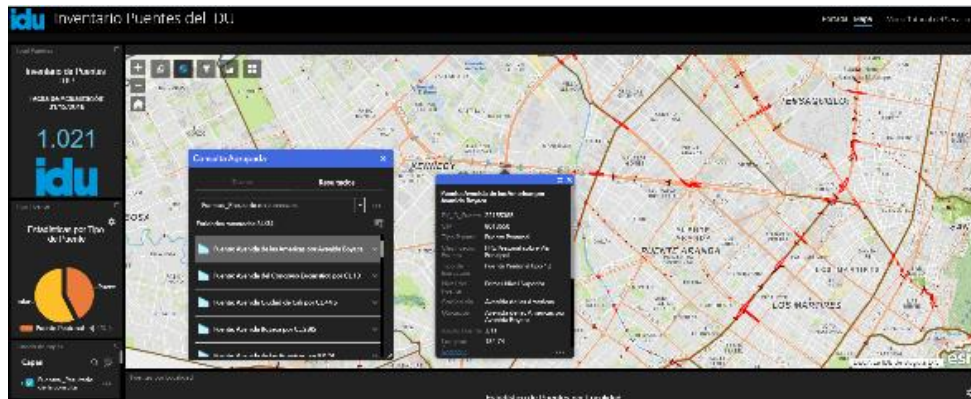
**Fuente.** ITPD, Pirámide de jerarquía de la movilidad urbana, 2013.

Al revisar el inventario de puentes de las localidades de Bogotá al año 2018, para la localidad de Kennedy, zona de interés para la ejecución del proyecto, hay un total de 77 puentes entre vehiculares y peatonales [15].

Sobre la AV. Boyacá siendo esta una malla vial arterial, posee dos puentes peatonales, esto para el tramo comprendido en la localidad de Kennedy, cómo se

puede observar en la figura 14, el puente peatonal más cercano a la zona de interés, es el de la Avenida de las Américas con Carrera 71c.


**Figura 14.** Inventario de puentes. [15]



**Fuente.** IDU, Servicios Geográficos, 2020.

Teniendo en cuenta las cifras de la figura 1 y figura 2, se puede determinar que el desarrollo del puente peatonal es clave en este punto, el cual es la AV. Boyacá con Calle 12B, brinda seguridad a los residentes del sector y transeúntes de la zona, ofreciendo mejor acceso al cruce de la avenida, mejorando a su vez el flujo de la Avenida Boyacá.

El puente peatonal mantiene la lógica de conexión de los bordes del Sistema Integrado de Transporte Público a través de la llegada de rampas y escaleras a los andenes. En este caso se suma el acceso directo del puente a la entrada principal de la fábrica de textiles Lafayette, mientras que en el costado oriental el puente conecta con el barrio Villa Alsacia la Nueva y la entrada principal del centro comercial el Edén. Así, el puente cumple una doble función: servir al sistema y conectar la actividad comercial con la residencial. [16]

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

## 1.5 MARCO REFERENCIAL

En el siguiente apartado se presenta la información teórica y normatividad que se requiere para dar inicio al diseño del puente ubicado en la AV. Boyacá con Calle 12B y de esta manera dar cumplimiento a los objetivos abordados.

### 1.5.1 *Marco teórico*

#### 1.5.1.1 Generalidades

Los puentes son una de las estructuras más atractivas en el campo de la Ingeniería Civil, debido a que crean juicios estéticos de la sociedad. En primer lugar, se establece un conjunto de definiciones y terminología apropiada relacionada con las estructuras del puente antes de analizar los conceptos de diseño del puente.


Un puente no puede diseñarse sin un conocimiento apropiado de los conceptos generales que van bien en el campo del análisis estructural y el diseño. El concepto de un puente requiere del diseñador un conocimiento general de otros aspectos, como los conceptos ambientales, estéticos, planificación urbana e integración del paisaje. Por lo general los diseñadores a menudo tiene que discutir problemas específicos para un concepto de diseño de puentes con especialistas en otros campos, así como de aspectos de campos más estrechamente relacionados como la ingeniería de carreteras o ferrocarriles [17].

La construcción que sostiene a los distintos flujos debe satisfacer como mínimo las siguientes condiciones básicas: Resistencia y estabilidad frente a las acciones a las que está sometido, Deformabilidad compatible con las características del flujo que corre sobre ella, y durabilidad, es decir, asegurar una vida útil acorde con la prevista en el proyecto. [18]

#### 1.5.1.2 Ingeniería de tránsito y transporte

El estudio de tránsito se realiza con base en

- Conteos vehiculares en la vía.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

- Conteo de transeúntes.
- Análisis de series históricas.
- Proyecciones de crecimiento económico.
- Analogías con vías de condiciones similares.
- Estudios de origen - destino y de capacidad vial.

En base a los estudios anteriores, se logran obtener datos sobre la cantidad de vehículos en un punto determinado, obteniendo volúmenes de tránsito, volúmenes peatonales y el tipo de vehículos que transitan el tramo vial.

### **1.5.1.3 Estudio topográfico**


Por medio de la elaboración de los planos topográficos realizados en campo, las obras viales quedarán referidas planimétricamente, siendo esto para obras de gran magnitud, en el caso de tratarse de obras medianas o pequeñas, el levantamiento puede quedar relacionado a un punto específico.

Se requiere adicionalmente otros trabajos topográficos como:

- Levantamiento preliminar
- Levantamiento para el proyecto
- Levantamiento para el control de situación
- Replanteo [19]

### **1.5.1.4 Diseño arquitectónico**

A través del diseño arquitectónico, el arte tiene como objeto dar estética, adecuarse al entorno o hasta llegar a mejorarlo, mediante la implementación de su geometría y tensiones del trazado, generando espacios que mejoran la calidad de vida de los transeúntes, aparte de cumplir con su objetivo el de dar seguridad, también supone un reto arquitectónico, convirtiéndose en el centro de diseño y creatividad.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

#### 1.5.1.5 Diseño estructural

Consiste en la aplicación de los diseños y cálculos en los elementos y sistemas estructurales, para que las estructuras soporten su propio peso conocido como carga muerta, más las cargas que se generan por los usuarios, nombrada como carga viva y a esto se le suman las cargas por viento, sismo y demás eventos naturales.

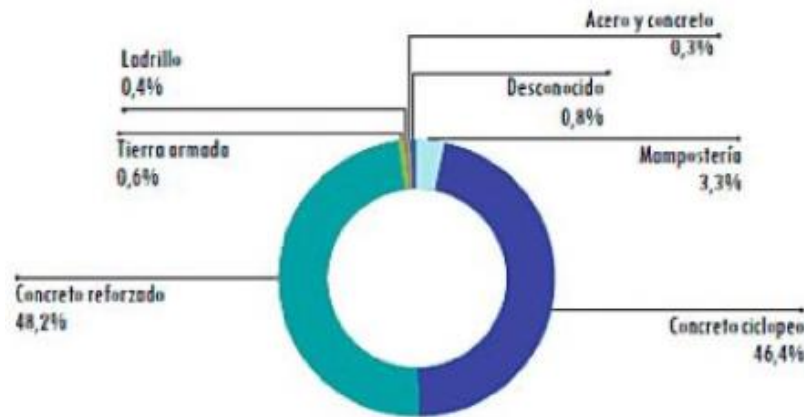
#### 1.5.1.6 Puentes en concreto

El concreto tiene una alta resistencia a la compresión y una muy baja resistencia a la tensión. El *concreto reforzado* es una combinación de concreto y acero en la que el refuerzo de acero proporciona la resistencia a la tensión de la cual carece el concreto. [1]

En consecuencia, el concreto reforzado como material de construcción, presenta una serie de ventajas sobre los demás materiales como lo son: la rigidez, alta vida útil, resistencia a las acciones del fuego y de la intemperie y por último su bajo costo por mantenimiento.

Por las anteriores características, el concreto reforzado es consolidado como el material más utilizado en el país y esto se puede demostrar en base a los datos del sistema de puentes de Colombia (Sipucol), donde el 63% de las superestructuras de los puentes de la red vial nacional son en concreto reforzado, el 24% son en concreto pre-esforzado. Los demás materiales utilizados en la superestructura son: el acero y ladrillo. Para la construcción de los estribos por el contrario se registra, el 48% y 46% contruidos en concreto reforzado y concreto ciclópeo. [20]

**Figura 15.** Distribución de los materiales de las pilas de la red vial nacional. [20]



Fuente. E. Díaz, Ingeniería de Puentes Reseña Histórica, Tipología, Diagnóstico y recuperación, Bogotá D.C, 2012.

En referencia a la figura 15, el concreto es el material principal cuando de construir un puente se trata, por su característica como resistencia a la compresión, permiten soportar grandes cargas y aunque tiene poca resistencia a la tracción, mediante el uso combinado de concreto y acero su respuesta ante estas es la ideal.


## 1.5.2 Marco conceptual

### 1.5.2.1 Definiciones

Un puente puede definirse como una construcción hecha para transportar el tráfico vehicular, tránsito ferroviario, pasaje peatona y/o ciclovías, acueductos, oleoducto, para pasar a través de un obstáculo como ríos, valles, canales marítimos y otras construcciones, como puentes, y carreteras.

La construcción que sostiene a los distintos flujos debe satisfacer como mínimo las siguientes condiciones básicas: resistencia y estabilidad frente a las acciones que está sometida, deformabilidad compatible con las características del flujo que corre sobre ella y durabilidad es decir asegurar una vida útil acorde con la prevista en el proyecto. [18].



 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

La ingeniería de puentes se ocupa de la topografía, plan, diseño, análisis, construcción, administración y mantenimiento de puentes que soportan o resisten cargas. Esta variedad de disciplinas requiere conocimiento de la ciencia y la ingeniería de materiales naturales y artificiales, compuestos, metalurgia, mecánica estructural, estática, dinámica, estadística, teoría de la probabilidad, hidráulica y ciencia del suelo, entre otros temas [21].

### 1.5.2.2 Clasificación

Las estructuras se pueden clasificar por su finalidad y objeto como:


- Puentes vehiculares
- Puentes ferroviarios.
- Acueductos.
- Puentes peatonales.
- Puentes provisionales. [22]

Dependiendo del tipo de material, por el cual se encuentra constituido se puede clasificar en:

- Piedra o mampostería
- Madera
- Metálico
- Concreto reforzado
- Concreto pre-esforzado [23]

De acuerdo con el sistema estructural se puede clasificar en:

- Losa maciza: Para pontones, puente pequeños y luces de hasta 8 metros
- Vigas: Sistema viga y tablero, soportan luces de hasta 25 metros.
- Cerchas: Soportan luces de hasta 60 metros mediante apoyos, diagonales y nodos
- Atirantados: Soportan luces de hasta 120 metros.
- Colgantes: Soportan luces de hasta 120 metros.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

### 1.5.2.3 Elementos del puente

Los elementos del puente, se integra a partir de dos partes principales: Superestructura y Subestructura y/o infraestructura


- Superestructura: es la parte de un puente que esta soportado por el tablero que soporta directamente las cargas vivas, armadura, cables, arcos que transmiten las cargas a los apoyos, es decir que el tablero transporta directamente el tráfico, mientras que otras partes de la superestructura soportan las cargas que pasan sobre ella y las transmiten a las subestructuras. [24]
- Subestructura y/o infraestructura: es la parte de que queda por debajo los apoyos y se encuentra conformada por pilas, pilares, estribos que soportan directamente la superestructura. Incluyendo las cimentaciones, estas son los encargados de transmitir los esfuerzos al terreno.

Aunque no son los únicos elementos en los puentes, donde podemos encontrar:

- Accesorios: apoyos elastomérico los cuales son dispositivos a través de los cuales se transmiten las cargas generadas por la superestructura a la infraestructura, juntas del puente que definen la una discontinuidad en la superestructura con respecto a subestructura, por lo general las juntas suelen ubicarse sobre los pilares.
- Luz del puente: define la distancia entre los apoyos del puente y la luz libre, que se encuentra entre pilas o pilas y estribos.
- Estribo: Es el elemento que recibe las cargas horizontales y verticales de la superestructura y el empuje de suelos por acción del terraplén, este elemento es el apoyo extremo de la superestructura.
- Gálibo: se determina como la distancia que debe dejarse por debajo del puente para garantizar el paso de vehículos o embarcaciones.

### 1.5.3 Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD – CCP 14

En la norma se estipulan únicamente los requisitos mínimos para el diseño de puentes vehiculos y peatonales, donde se garantiza la seguridad pública mediante redundancia y ductilidad y de protección de contra la socavación y las colisiones.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

Los estados límite que se especifican en la norma son garantes para el diseño de los puentes, puesto que, con estos se determina, si es construible, seguro y el servicio, articulado con la facilidad de inspección, economía y estética.

#### 1.5.4 *Marco legal*

La responsabilidad real en diseño y construcción se divide entre propietario, gerente de proyecto, diseñador y contratista, pero la distribución exacta depende del sistema legal del país. Evidentemente, el sistema será más eficiente y moralmente aceptable cuando las responsabilidades legales coincidan con la competencia y la iniciativa.


En los sistemas tradicionales, los contratistas solo son responsables de la ejecución y normalmente los diseñadores tienen todas las responsabilidades de gestión y diseño de proyectos, por lo general la responsabilidad principal se da más a los contratistas que a los diseñadores, debido a los costos relativos de diseño y construcción. [20].

Sin embargo, el gobierno nacional ha dispuesto una normatividad para la regulación en los parámetros de diseño y las condiciones de los puentes, tanto vehiculares como peatonales, en la cual se dispone de verificaciones para garantizar el buen funcionamiento de la estructura y confort de los usuarios teniendo en cuenta los requisitos mínimos de cumplimiento.

- Norma Colombiana de Diseño de Puentes - LRFD - CCP 14.

Teniendo como base el diseño con factores de carga y de resistencia LRFD (Load Resistant Factor Design) fundamentada en el uso confiable de los métodos estadísticos mediante procedimientos fácilmente utilizables por los diseñadores de puentes [21]. Es así como también tenemos base en la normatividad AASTHO, la cual es norma principal para el diseño de puentes.

- AASTHO LRFD Bridge Design Specifications 6ª edition (2012)
- AASTHO LRFD Bridge Design Specifications 7ª edition (2014) [2]

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

## 1.6 METODOLOGÍA

### 1.6.1 *Recopilación de información de obras similares en la AV. Boyacá*

Las recopilaciones de datos de referencia aportan de manera positiva, puesto que, comparten características similares como lo son: el tipo de suelo que se encuentra en el área de estudio, material de construcción utilizado y sistema de modelado del puente peatonal.

### 1.6.2 *Análisis de los datos recopilados*


El análisis de los datos recopilados, posibilita una mejor toma de decisión, dado que, en proyectos ya ejecutados se pueden distinguir las soluciones brindadas, ya sea por problemas como la elección del material adecuado hasta los accesorios como barandas, juntas del puente y pre dimensionamiento no factibles para los peatones con movilidad reducida.

### 1.6.3 *Definición del diseño arquitectónico del puente*

Se desarrolla el diseño geométrico, arquitectónico y urbanístico del puente peatonal, en la zona a intervenir.

### 1.6.4 *Software de diseño y modelado geométrico*

El análisis del puente peatonal se va a realizar con el programa SAP – 2000. Las dimensiones del puente se determinan mediante Microsoft Excel al igual que las deformaciones de los elementos estructurales y las respectivas verificaciones de cumplimiento para cada elemento que componen el puente.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

## 2 PREDIMENSIONAMIENTO

El presente capítulo contiene el pre dimensionamiento del puente peatonal que está previsto para ser ejecutado en la Avenida Boyacá con Calle 12B,


### **Georreferenciación de punto planteado mediante las herramientas de Google Earth y AutoCAD**

A través del mapa geográfico de la ciudad de Bogotá D.C. y la importación de las construcciones presentes en el lugar de estudio desde el programa de Google Earth a un archivo DWG, donde se establece la ubicación exacta de la zona de interés, esto permite tener conocimiento de las medidas reales del terreno, para así poder realizar el planteamiento de la localización de las pilas y demás elementos del puente en el terreno.

### **Aforo peatonal en Avenida Boyacá con Calle 12B**


Debido a los supuestos de la demanda que podría tener el puente peatonal en este punto donde actualmente se encuentra un semáforo que permite el paso peatonal de la avenida Boyacá, se realiza un conteo peatonal con el objetivo de cuantificar en cifras reales la demanda que podría considerarse en la superestructura peatonal y determinar el ancho requerido para esta misma superestructura.

El aforo peatonal se realizó el día 01 de septiembre de 2020, día en el que se permitió el tránsito libre peatonal en todas las localidades de Bogotá, en las fichas del aforo realizado, el sentido 1 es el paso de la avenida Boyacá de oriente a occidente y el sentido 2 es el paso de avenida Boyacá de occidente a oriente, se dio inicio a las 6:00 am de la mañana tomando como hora pico la primera franja horaria de 6:00 am a 9:00 am, para la hora valle se tomó la segunda franja horaria


 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</b> FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
--	---	--------------------------

de 12:00 pm a 14:00 pm, a continuación se presentan las fichas totalizadas del aforo peatonal por franja horaria.

**Tabla 4.** Conteo peatonal, primera franja



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA**



**U CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

**TESIS:** DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN AVENIDA BOYACA CON CALLE 12B

FICHA N° 1: FICHA DE CONTEO PEATONAL- PRIMERA FRANJA HORARIA HORA PICO

**Tesistas:**  
Nathalia Zambrano Montiel  
Wilder Alexander Junco Piñeros

**Ubicación:**  
Villa Alsacia


**Responsable:**


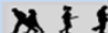

**Fecha:**  
01/09/2020

**Zona:**  
Av. Boyaca con calle 12B

**Hora de inicio:**  
6:00


**Sentido:**  
1-2





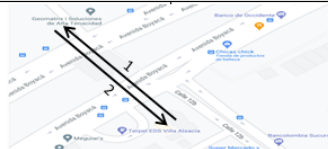



HORAS DE CONTROL	Peatón Vulnerable 		Peatón no Vulnerable 		Ciclistas 		Total		Total
	SENTIDO	SENTIDO	SENTIDO	SENTIDO	SENTIDO	SENTIDO	SENTIDO		
	1 ↑	2 ↓	1 ↑	2 ↓	1 ↑	2 ↓	1 ↑ 2 ↓		
06:00-06:15			11	10	15	24	26 34	60	
06:15-06:30			29	14	30	63	59 77	136	
06:30-06:45			33	16	21	83	54 99	153	
06:45-07:00	1	1	19	15	18	69	38 85	123	
07:00-07:15		1	27	16	5	44	32 61	93	
07:15-07:30			20	22	2	38	22 60	82	
07:30-07:45			24	19	12	41	36 60	96	
07:45-08:00		2	27	24	5	44	32 70	102	
08:00-08:15			24	22	5	25	29 47	76	
08:15-08:30	1	1	23	33	5	28	29 62	91	
08:30-08:45		2	33	27	6	25	39 54	93	
08:45-09:00		1	24	27	4	27	28 55	83	
<b>Total</b>		10		539		639	424 764	1188	

**Fuente.** Los Autores

En la tabla 4. se presentan los resultados obtenidos en la hora pico, el total de peatones desde las 6:00 am hasta las 9:00 am en ambos sentidos (1-2) es de mil ciento ochenta y ocho peatones (1.188), algo para resaltar en este primer conteo es la cantidad de ciclistas registrados en esas tres horas, pues supera al número de peatones que se movilizan a pie, numero de ciclistas registrados 639 y número de peatones registrados 549, superando estos primeros por 90 peatones en total a los segundos.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</b> FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	<b>FECHA: 2020</b> <b>VERSIÓN 0</b>
--	--	--

**Tabla 5.** Conteo peatonal, segunda franja.

<div><div><div>UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA</div></div><div><div>FACULTAD DE INGENIERIA</div><div>PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL</div></div><div><div></div><div>U CATOLICA de Colombia</div></div></div>									
TESIS: DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN AVENIDA BOYACA CON CALLE 12B									
FICHA N° 2: FICHA DE CONTEO PEATONAL-SEGUNDA FRANJA HORARIA-HORA VALLE									
Tesistas:		Nathalia Zambrano Montiel		Ubicación:		Villa Alsacia			
		Wilder Alexander Junco Piñeros							
Responsable:				Fecha:		01/09/2020			
Zona:		Av. Boyaca con calle 12B		Hora de inicio:		12:00			
Sentido:		1-2		Hora de fin:		14:00			
HORAS DE CONTROL	Peatón Vulnerable 		Peatón no Vulnerable 		Ciclistas 		Total		Total
	SENTIDO	SENTIDO	SENTIDO	SENTIDO	SENTIDO	SENTIDO	SENTIDO		
	1 ↑	2 ↓	1 ↑	2 ↓	1 ↑	2 ↓	1 ↑ 2 ↓		
12:00-12:15	1	2	21	20	13	13	35	35	70
12:15-12:30		5	27	37	21	30	48	72	120
12:30-12:45	3	5	36	30	8	24	47	59	106
12:45-13:00	1	5	44	37	15	30	60	72	132
13:00-13:15		7	43	35	20	35	63	77	140
13:15-13:30		2	79	42	19	30	98	74	172
13:30-13:45	1		51	29	40	38	92	67	159
13:45-14:00	1	2	55	36	28	21	84	59	143
Total	35		622		385		527	515	1042

**Fuente.** Los Autores

En la tabla 5. se presentan los resultados obtenidos en la hora valle, con un total de peatones desde las 12:00 pm hasta las 14:00 pm en ambos sentidos (1-2) de mil cuarenta y dos peatones (1.042), se puede apreciar la cantidad de peatones que transcurre en esta franja horaria, en comparación con la primera franja hay una diferencia menor de 146 peatones, sin contar con que esa segunda franja es solamente de dos horas de conteo, por lo tanto no se debería asumir una hora pico ya que el flujo peatonal es constante durante todo el día, a continuación se presenta el cálculo de peatones en un minuto para la determinación del ancho del puente peatonal.

$$I = \frac{QP15}{15 \text{ min} * Am}$$

**Donde:**

$I = \text{Intensidad (Peatón/min/m)}$

*QP15= Mayor número de peatones registrado en los cuatros periodos de 15 minutos, correspondiente a la hora que genero el valor máximo horario.*

*Am= Ancho menor de la sección*

$$I = \frac{172 \text{ peatones}}{15 \text{ min} * 8 \text{ m}} = 1.43 \text{ Peatón/min/m}$$

**Tabla 6.** Nivel de servicio para andenes y senderos peatonales.

NIVEL SERVICIO	Espacio (m2/peatón)	Volumen (peatón/min./m)	Velocidad (m/s)	v/c
A	>5.6	<16	>1.30	<0.21
B	>3.7 - 5.6	>16 - 23	>1.27 - 1.30	>0.21 - 0.31
C	>2.2 - 3.7	>23 - 33	>1.22 - 1.27	>0.31 - 0.44
D	>1.4 - 2.2	>33 - 49	>1.14 - 1.22	>0.44 - 0.65
E	>0.75 - 1.4	>49 - 75	>0.75 - 1.14	>0.65 - 1.00
F	<0.75	Variable	<0.75	Variable

**Fuente.** INVIAS, Manual de Capacidad para Carreteras.

**Tabla 7.** Nivel de servicio para peatones intersección semaforizada.

NIVEL SERVICIO	Demora Peatonal (s/peatón)	Probabilidad de desobediencia
A	<10	Baja
B	>10 - 20	
C	>20 - 30	Moderada
D	>30 - 40	
E	>40 - 60	Alta
F	>60	Muy alta

**Fuente.** INVIAS, Manual de Capacidad para Carreteras.





## **Determinación y ubicación de largo de las luces y vigas en puntos estratégicos de la avenida Boyacá, y ancho del tablero**

Luego de georreferenciar la zona y determinar el ancho de la superestructura, se procede a determinar el largo de la misma, teniéndose en cuenta el ancho del sendero peatonal de ambos costados, en el costado occidental que colinda con la empresa Geomatrix, se cuenta con 5.6 metros aproximadamente, por lo que, se restringe la medida de los accesos del puente peatonal, debido a esta condición se establece un ancho de 2 metros para las rampas y 2 metros para las escaleras, se decide hacer los accesos iguales para ambos costados, es decir estilo espejo, en cuanto a la longitud de la luces esta se determina por el ancho de la vía, obteniéndose luces de 27.5 metros, para el primer tramo de la Av. Boyacá que conecta en el sentido oriente, la luz central tiene una longitud de 20 metros, determinado por ancho del separador que divide los dos sentidos de la Av. Boyacá, para la tercera y última luz que conecta la Av. Boyacá en el sentido occidente, cuenta con una longitud de 27.5 metros.

Para la determinación del ancho de la infraestructura de acceso al puente (escaleras y rampa) se da cumplimiento al ancho mínimo requerido de 120 cm, escogiendo un ancho de 200 cm para las escaleras, de acuerdo con la norma NTC 4115, para la determinación de la contrahuella se definió un valor de 18 cm según norma NTC 4145, a continuación, se presenta el cálculo correspondiente para determinación de la huella de las escaleras.

$$2a + b = 60/64$$

*Ecuación tomada de norma NTC 4145*

*Dónde:*


*a = Contrahuella*

*b = Huella*

*Realizando el reemplazo de las variables se obtiene:*


$$b = 64 - 2 * (18cm)$$

$$b = 24 cm$$

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

Un valor de huella de 24 cm para las escaleras que permiten el acceso al puente peatonal, finalmente las escaleras quedaron con un total de 33 escalones contando el descanso con longitud igual al ancho de las escaleras dando cumplimiento a lo requerido en la norma NTC 4145 y una longitud en planta de 968 cm.

Para la rampa de acceso se tiene una pendiente máxima de 10% según norma NTC 4774, al igual que los descansos requeridos de 1.5 metros, en cuanto a las longitudes de cada tramo de rampa se determinaron según pendiente máxima, para el tramo uno, una longitud de 15 metros, para el tramo dos, una longitud de 10 metros, para el tramo tres, una longitud de 10 metros, para el tramo cuatro, una longitud de 15 metros y para el último tramo una longitud de 11 metros, al terminar las longitudes 1,2,3 y 4 de cada tramo de rampa se encuentran los descansos de 1.5 metros.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

### 3 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

El presente capítulo comprende el análisis Técnico - Económico de las alternativas de diseño, que da solución al problema planteado, con el principal objetivo de realizar la elección del mejor material para la elaboración de la superestructura del puente peatonal, en términos de la infraestructura del puente esta no se tendrá en cuenta para el estudio de pre factibilidad dado a que su composición será uniforme y estándar en la utilización de materiales, la infraestructura no depende del sistema constructivo a utilizar en la superestructura.

El estudio de pre factibilidad se debe concentrar en la identificación y análisis técnico de las alternativas las cuales deben ser comparativas; Es decir, debe realizarse con los diferentes diseños que se pueden emplear para la ejecución del puente.

#### 3.1 ALTERNATIVAS

A continuación, se describen las alternativas del proyecto del puente peatonal, para realizar el estudio se tuvieron en cuenta las siguientes:

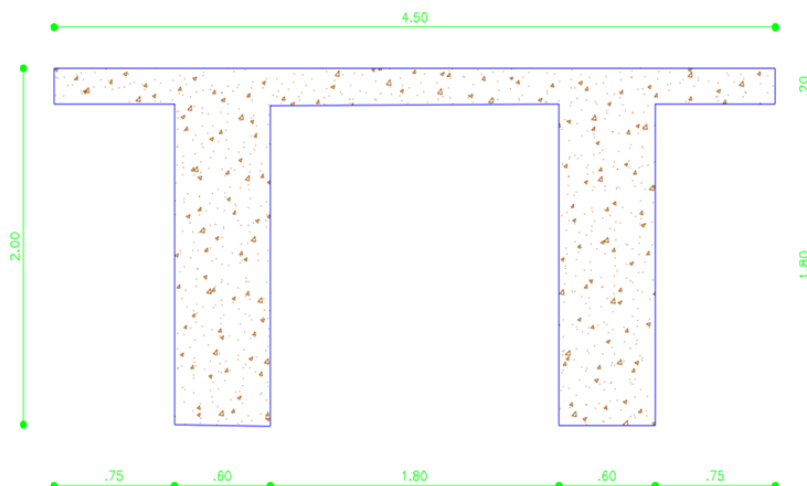
##### **Alternativa 1: Superestructura en concreto reforzado**

Esta alternativa se compone de la unión del concreto con el acero, se realiza por la confiabilidad que ha generado a nivel mundial que ofrece este tipo de concreto, sus principales ventajas son:

- Resistencia considerable a la compresión.
- Resistencia a las acciones del fuego y el agua.
- Rigidez.
- Poco mantenimiento.
- Larga vida de servicio.
- Capacidad de cargas altas.

Un factor importante a tener en cuenta en el momento de la ejecución es el factor económico, para tal fin es necesario presentar el predimensionamiento de esta alternativa.

**Figura 16.** Superestructura en concreto.



**Fuente.** Los Autores

En la siguiente tabla se establece el valor correspondiente a la superestructura del puente peatonal, teniendo en cuenta el material más representativo que es el concreto, teniendo este un valor de costo directo de \$104.177.503.49 (Ciento cuatro millones ciento setenta y siete mil quinientos tres pesos) para concreto de 28MPa.

**Tabla 8.** Presupuesto general alternativa 1.

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT.	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
1	Suministro y fundición de concreto de 28 Mpa, (Incluye mano de obra y herramienta menor)	m <sup>3</sup>	229.50	\$ 453.932.477	\$ 104,177,503.49
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 104,177,503.49</b>

**Fuente.** Los Autores

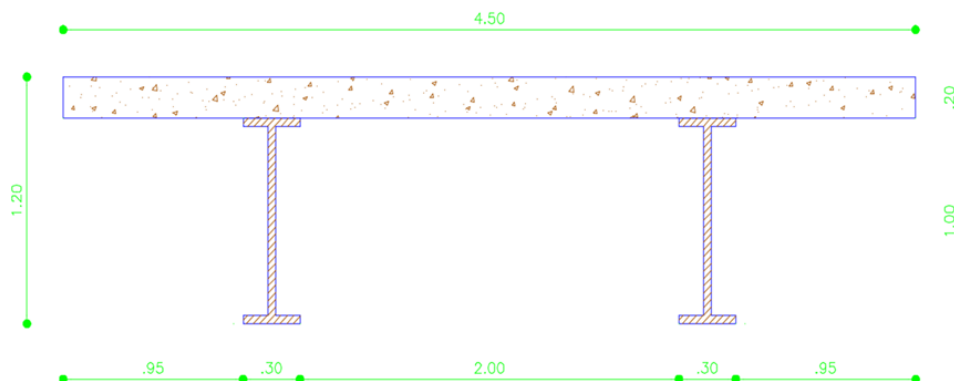
### **Alternativa 2: Superestructura en vigas metálicas y tablero en concreto**

Esta alternativa se realiza por la versatilidad y facilidad en la ejecución del proyecto pues al ya estar prefabricado el elemento solo requiere de transporte e instalación, al contrario de la mampostería y del concreto, que son menos resistentes en tensión que en compresión, el acero presenta la misma resistencia a tensión que a compresión. (Valencia 2.1). Sus principales ventajas son:


- Alta resistencia.
- Uniformidad.
- Elasticidad.
- Ductilidad.
- Durabilidad.
- Tenacidad.

Un factor importante a tener en cuenta en el momento de la ejecución es el factor económico, para tal fin es necesario presentar el predimensionamiento de esta alternativa.

**Figura 17.** Superestructura en vigas metálicas y concreto.



**Fuente.** Los Autores

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

En la siguiente tabla se establece el valor correspondiente a la superestructura del puente peatonal, teniendo en cuenta el material más versátil que es el acero esto para las vigas, en cuanto a la losa se utiliza concreto de 28MPa, obteniendo un valor de costo directo de \$156.209.042.20 (Ciento cincuenta y seis millones doscientos nueve mil cuarenta y dos pesos) para viga perfil W40 x 211 más concreto de 28MPa.

**Tabla 9.** Presupuesto general alternativa 2.

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT.	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
1	Suministro y fundición de concreto de 28 Mpa, (Incluye mano de obra y herramienta menor)	m <sup>3</sup>	67.50	\$ 453,932.477	\$ 30,640,442.20
2	Suministro e instalación de perfil metálico W40 * 211 - A36	Kg	47100.00	\$ 2,666.00	\$ 125,568,600.00
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 156,209,042.20</b>

**Fuente.** Los Autores

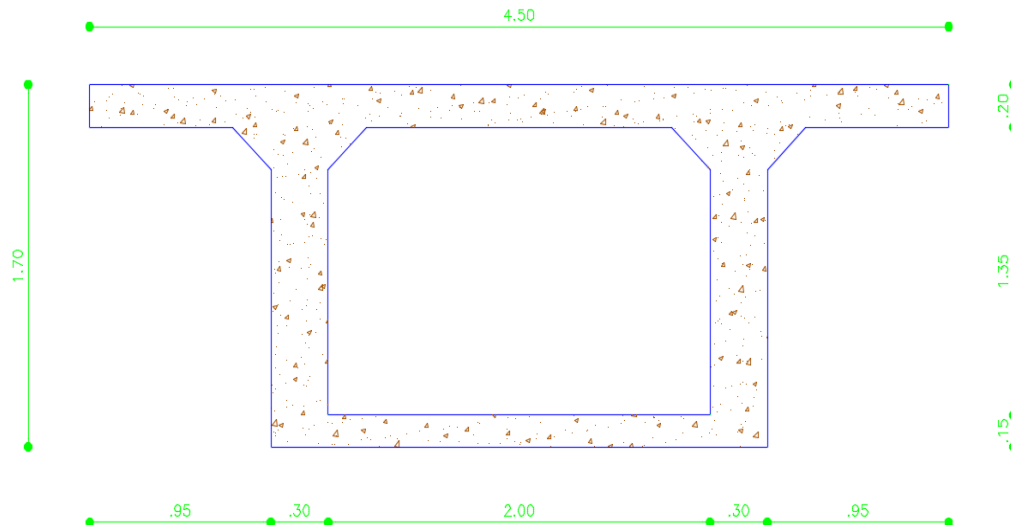
### **Alternativa 3: Superestructura en concreto reforzado - viga cajón**

Esta alternativa realiza la construcción de puentes con luces hasta de 50 metros, gracias a su eficiencia inercial y tensional, de este tipo de superestructura se puede destacar lo siguiente:

- Buena rigidez tensional que permite mejor distribución transversal de cargas.
- Sus deformaciones elásticas y diferidas son menores.
- La relación Inercia/sección es buena, tanto para funcionar con momentos positivos y negativos, es por este motivo que este sistema se emplea en vigas continuas. [25]

Un factor importante a tener en cuenta en el momento de la ejecución es el factor económico, para tal fin es necesario presentar el predimensionamiento de esta alternativa.

**Figura 18.** Superestructura viga cajón en concreto reforzado.



**Fuente.** Los Autores

En la siguiente tabla se establece el valor correspondiente a la superestructura del puente peatonal, teniendo en cuenta el sistema empleado en ella, y a su vez su composición de concreto de 28MPa para todo el sistema, teniendo este un valor de costo directo de \$74.217.960.00 (Setenta y cuatro millones doscientos diecisiete mil novecientos sesenta pesos).

**Tabla 10.** Presupuesto general alternativa 3.

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT.	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
1	Suministro y fundición de concreto de 28 Mpa, (Incluye mano de obra y herramienta menor)	m <sup>3</sup>	163.50	\$ 453,932.477	\$ 74,217,960.00
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 74,217,960.00</b>

**Fuente.** Los Autores



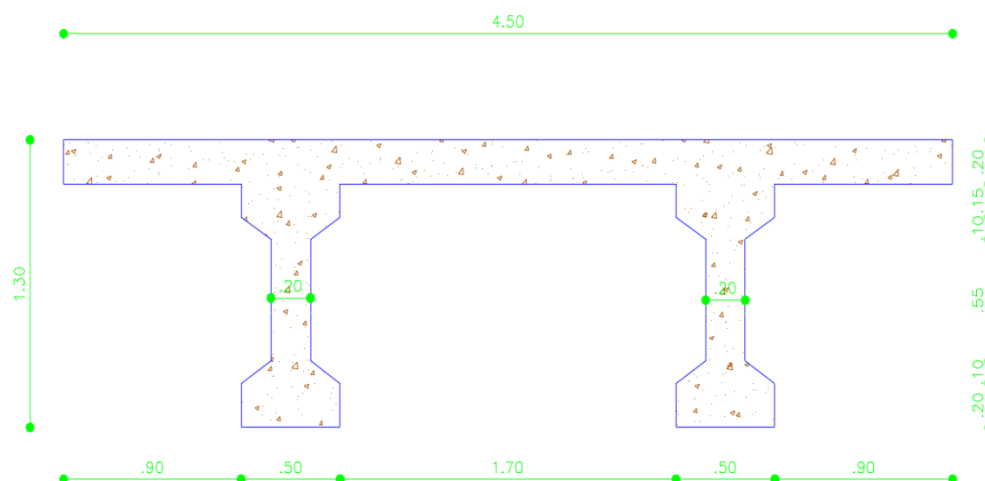
#### **Alternativa 4: Superestructura en vigas de concreto postensado**

En esta alternativa, el método del concreto postensado consiste en someter a tensión cables de acero, esto después de que se ha colocado el concreto y una vez este adquiere la resistencia deseada, los cables pueden ser adheridos o no adheridos, la tensión proporciona las fuerzas aplicadas que son opuestas a las producidas por las cargas de trabajo, dichas fuerzas no funcionan por adherencia al concreto sino por apoyo extremo, logrando aumentar así su capacidad de carga. Las principales características son:

- Construcción de grandes luces, reduciendo el uso de columnas.
- Sus deformaciones elásticas y diferidas son menores.
- Eficiencia y durabilidad del sistema.


Un factor importante a tener en cuenta en el momento de la ejecución es el factor económico, para tal fin es necesario presentar el predimensionamiento de esta alternativa.

**Figura 19.** Superestructura en vigas de concreto postensado.



**Fuente.** Los Autores



 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

En la siguiente tabla se establece el valor correspondiente a la superestructura del puente peatonal, donde las vigas se plantean en concreto postensado, y el tablero se compone de concreto de 28MPa, teniendo este un valor de costo directo de \$71.140.688.20 (Setenta y un millones ciento cuarenta mil seiscientos ochenta y ocho pesos).

**Tabla 11.** Presupuesto general alternativa 4.

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT.	VR. UNITARIO	VR. PARCIAL
1	Concreto clase A $f'c = 35$ Mpa, Postensado In- situ	m <sup>3</sup>	53.25	\$ 760,568.000	\$ 40,500,246.00
1	Suministro y fundición de concreto de 28 Mpa, (Incluye mano de obra y herramienta menor)	m <sup>3</sup>	67.50	\$ 453,932.477	\$ 30,640,442.20
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>\$ 71,140,688.20</b>

**Fuente.** Los Autores

### 3.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

Después de analizar las alternativas anteriores, se determina que, en la primera alternativa, el exceso de material juega un papel importante en el presupuesto de la superestructura con una cantidad de concreto de 229.5 m<sup>3</sup>, siendo la segunda alternativa más costosa con un valor de \$104.177.503.49, en cuanto a la segunda alternativa el sobre costo, da lugar a que sea la propuesta más costosa de todas con un valor de \$156.209.042.20, continuando con la tercera alternativa presenta buenas ventajas constructivamente pero su costo no es el más económico con un precio de \$74.217.960.00, la cuarta alternativa presenta características que favorecen el proyecto de puente peatonal entre ellas esta las grandes luces que se puede proporcionar por este método, capacidad de carga gracias al postensado y por último es la más económica con un valor de \$71.140.688.20.

Dicho lo anterior se escoge la alternativa 4 de concreto postensado debido a su economía y a las características que nos brinda para el desarrollo del proyecto.



## 4 ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SUPERESTRUCTURA

El siguiente capítulo se compone del diseño de la superestructura del puente peatonal (Tablero y vigas), a continuación, se presentan las memorias de cálculo de la viga postensada en I (simplemente apoyada) para las vigas de 27,5 m de longitud

### 4.1 ANÁLISIS Y DISEÑO DEL TABLERO

A continuación, se presenta la geometría general del puente peatonal, cabe resaltar que los cálculos que se presentan están analizados y diseñados para un metro de tablero.

#### 4.1.1 *Predimensionamiento*

- **Materiales**

$$f'c = 28 \text{ MPa}$$

$$fy = 420 \text{ MPa}$$

- **Espesor Mínimo**

$$t = \frac{1.2(S + 3000)}{30}$$

$$t = \frac{1.2(2200 + 3000)}{30}$$

$$t = 208 \text{ mm}$$

Se asume un espesor de tablero,  $t = 0.22\text{m}$ .



#### 4.1.2 *Análisis Estructural*

##### a) Carga Muerta (DC)

$$\text{Peso propio} = 0.22m * 1m * 24 \frac{kN}{m} = 5.28 \frac{kN}{m}$$

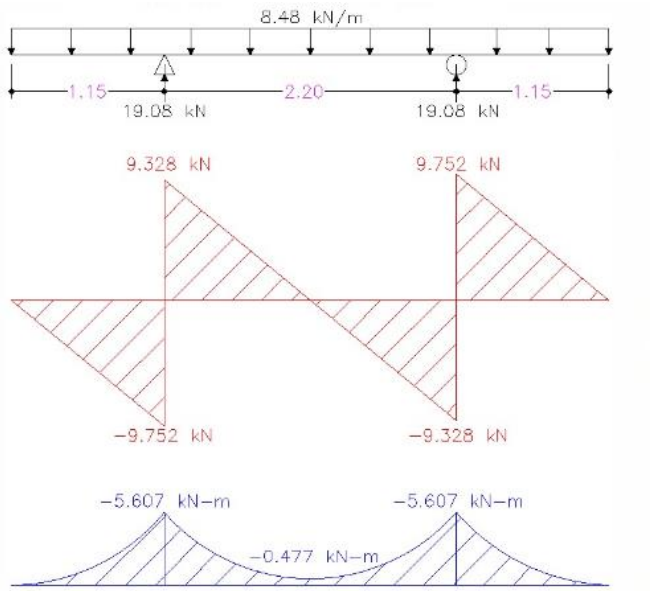
$$\text{Bordillos} = 0.20m * 0.25m * 24 \frac{kN}{m} = 1.2 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Barandas} = 2 \frac{kN}{m}$$

$$\text{Carga Muerta DC} = 8.48 \frac{kN}{m}$$

##### - Diagrama de cortante y momento (DC)

**Figura 20.** Diagrama de momento y cortante para carga muerta.



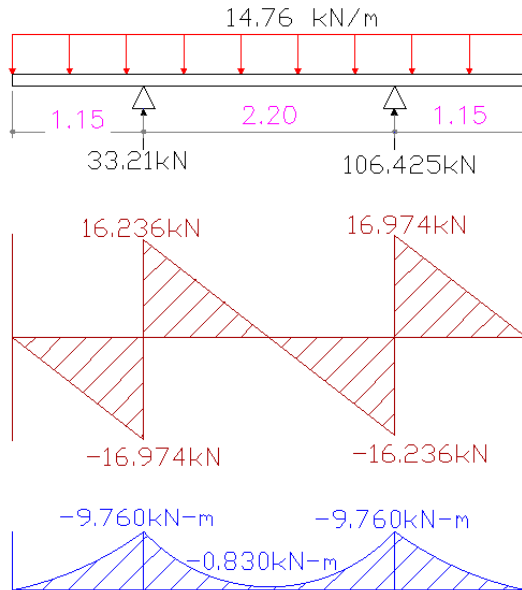
**Fuente.** Los Autores

##### b) Carga Viva (PL)

$$PL = 3.6 \frac{kN}{m^2} * 4.10m = \frac{14.76 kN}{m}$$



**Figura 21.** Diagrama de momento y cortante para carga viva.



**Fuente.** Los Autores

### c) Tabla Resumen

	DC	PL
<b>V (kN)</b>	9.752	16.974
<b>Mu<sup>(+)</sup> (kN-m)</b>	5.607	9.760


### d) Combinaciones de cargas

- **Resistencia I = 1.25 DC + 1.75 PL**

$$Vu = 1.25(9.752) + 1.75(16.974) = 41.895 \text{ kN}$$

$$Mu = 1.25(5.607) + 1.75(9.760) = 24.089 \text{ kN} - m$$

- **Servicio I = 1.0 DC + 1.0 PL**

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

$$V_s = 1.0(9.752) + 1.0(16.974) = 26.726 \text{ kN}$$

$$M_s^{(-)} = 1.0(5.607) + 1.0(9.760) = 15.367 - m$$

#### 4.1.3 Diseño Estructural

##### a) Diseño a flexión ( $\phi M_n > M_u$ )

Utilizando un diámetro de varilla inicial # 4, se obtiene la distancia efectiva  $d$

$$d = 0.22 - 0.05 - \frac{0.0127}{2} = 0.164 \text{ m}$$

A partir de la obtención de la distancia efectiva, se procede a obtener la cuantía

$$\rho = \frac{0.85 * 28000}{420000} * \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.61 * 23.478}{28000 * 1 * (0.164^2)}} \right] = 0.00236$$

$$0.00236 < 0.0033 \rightarrow \text{No Cumple}$$

Debido a que la cuantía de acero no cumple con la cuantía mínima, se toma el valor de la cuantía mínima de acero (0.0033).

$$A_s = 0.0033 * 1 * 0.164 = 5.412 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\# \text{ varillas} = \frac{5.412}{1.29} = 4.19 \text{ varillas} \approx 5 \text{ varillas} \# 4 \text{ c/.20}$$

##### - Verificación de momento resistente $\phi M_n$

$$d = 0.22 - 0.05 - \frac{0.0127}{2} = 0.164 \text{ m}$$

$$a = \frac{\left(\frac{5 * 1.29}{10000}\right) * 420000}{0.85 * 28000 * 1} = 0.011 \text{ m}$$

$$\phi M_n = 0.9 * \left(\frac{5 * 1.29}{10000}\right) * 420000 * \left(0.164 - \frac{0.011}{2}\right) = 38.644 \text{ kN} - m$$



$$38.644 \text{ kN} - m > 23.891 \text{ kN} - m$$
$$\phi Mn > Mu \rightarrow \text{Cumple}$$

- **Verificación As mín.**

A continuación, se procede a realizar la verificación del acero mínimo donde se elige el menor de  $M_{cr}$  y 1.33 veces el momento último en comparación con el momento nominal.

$$f_r = 0.62 * \sqrt{28} = 3280.73 \text{ KPa}$$

$$S_c = \frac{1 * 0.22^2}{6} = 8.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$M_{cr} = 0.75 * 1.6^2 * 3280.73 * 8.1 \times 10^{-3} = 51.02 \text{ kN} - m$$

$$1.33Mu = 1.33 * 24.089 = 32.04 \text{ kN} - m$$

$$32.04 \text{ kN} - m < 38.51 \text{ kN} - m$$
$$1.33Mu < \phi Mn \rightarrow \text{Cumple}$$

- **Verificación As max**

Se debe verificar que la relación  $c/d$ , la cual debe ser menor a 0.42.


$$c = \frac{0.011}{0.85} = 0.013 \text{ m} \rightarrow \frac{c}{d} = \frac{0.013}{0.164} = 0.082$$

$$0.082 < 0.42 \rightarrow \text{Cumple}$$

- **Acero de distribución**

Se verifica que el acero de distribución cumpla con lo siguiente:

$$A_{s_{dist}} = \frac{3840}{\sqrt{S}} \leq 67\%$$

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

$$As_{dist} = \frac{3840}{\sqrt{2200}} = 81.87\%$$

Como el acero de distribución tiene un porcentaje de 81.87%, mayor al permitido, se procede a realizar el cálculo del acero correspondiente a 67%.

$$As_{dist} = 5 * 1.29 * 0.67 = 4.322 \text{ cm}^2$$

$$\# \text{ varillas} = \frac{4.322}{1.29} = 3.350 \text{ Varillas} \rightarrow \mathbf{4 \# 4 C/.25}$$

#### **b) Diseño a cortante ( $\phi V_n > V_u$ )**

Se continua con el diseño a cortante y verificación del mismo, donde primero se elige el mayor de  $d_v$  y después se realiza la respectiva verificación.

$$d_v = 0.9 * 0.164 = 0.148 \text{ m}$$

$$d_v = 0.72 * 0.22 = 0.158 \text{ m}$$

$$\phi V_n = 0.9 * 0.166 * \sqrt{28} * 1 * 0.158 * 1000 = 125.00 \text{ kN}$$

$$125.00 \text{ kN} > 41.550 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u \rightarrow \text{Cumple}$$

## **4.2 ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIGAS**

A continuación, se procede a realizar el análisis de las vigas postensadas de 27.5 metros presentes en los extremos y la viga postensada central de 20 metros

### **4.2.1 Viga postensada de 27.5m**

Memoria de cálculo para la viga postensada de 27.5 m de longitud, que se encuentra simplemente apoyada.

#### 4.2.1.1 Geometría del puente

**Tabla 12.** Geometría del puente.

1. Geometria del puente			
<b>L<sub>v</sub></b>	27,5	m	Longitud de la viga
<b>N<sub>v</sub></b>	2	Nº	Numero de vigas
<b>S</b>	2,2	m	Espaciamiento entre vigas
<b>L<sub>o</sub></b>	4,5	m	Ancho del puente
<b>a<sub>a</sub></b>	0,20	m	Ancho del andén (bordillo)
<b>h<sub>a</sub></b>	0,25	m	Altura del andén (bordillo)
<b>N<sub>R</sub></b>	1	Nº	Número de riostras intermedias.
<b>a<sub>R</sub></b>	0,30	m	Ancho de las riostras

**Fuente.** Los Autores

En la tabla 12, se encuentra la geometría del puente, así como longitud de la viga, número de vigas, espaciamento entre vigas, ancho del puente, dimensiones de los bordillos, número y ancho de riostras.

#### 4.2.1.2 Materiales

La resistencia de los materiales como el concreto y acero que conformarán la viga del puente peatonal se presenta de la siguiente manera:

- **Concreto de la viga**

Peso específico del concreto,  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$

Resistencia de concreto de viga,  $f'_{cv} = 42 \text{ MPa}$

Resistencia del concreto de la viga durante la transferencia,  $f'_{civ} = 38.5 \text{ MPa}$

Resistencia del concreto de la losa,  $f'_{cl} = 28 \text{ MPa}$

Resistencia del concreto de la losa durante la transferencia,  $f'_{cl} = 24.5 \text{ MPa}$

- **Acero de la viga**

Resistencia del acero de refuerzo,  $f_y = 420 \text{ MPa}$

Resistencia última de acero de presfuerzo,  $f_{pu} = 1890 \text{ MPa}$

Resistencia fluencia del acero de presfuerzo,  $f_{py} = 1701 \text{ MPa}$



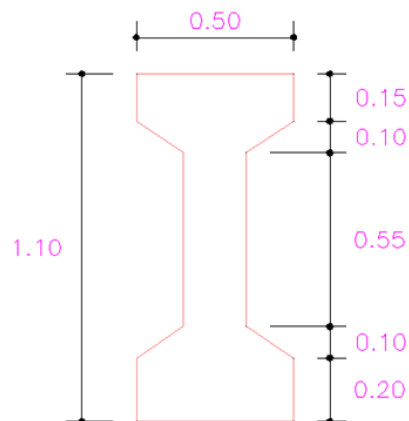
#### 4.2.1.3 Geometría de la viga postensada

**Tabla 13.** Geometría de la viga postensada.

3. Geometría de la viga postensada			
<b>H</b>	1,10	m	Altura de la viga
<b>H<sub>1</sub></b>	0,15	m	Altura de la cabeza superior
<b>H<sub>2</sub></b>	0,10	m	Altura acartelamiento superior
<b>H<sub>3</sub></b>	0,10	m	Altura acartelamiento inferior
<b>H<sub>4</sub></b>	0,20	m	Altura de la cabeza inferior
<b>T<sub>v</sub></b>	0,20	m	Ancho del alma
<b>B<sub>s</sub></b>	0,50	m	Ancho cabeza superior
<b>B<sub>i</sub></b>	0,50	m	Ancho cabeza inferior
<b>T<sub>i</sub></b>	0,20	m	Espesor de la losa
<b>L<sub>b</sub></b>	1,30	m	Longitud bloque anclaje
<b>L<sub>t</sub></b>	0,50	m	Longitud de transición

**Fuente.** Los Autores

**Figura 22.** Geometría de la viga postensada



**Fuente.** Los Autores

En la siguiente tabla se consignan los datos correspondientes a ancho efectivo de la sección compuesta.

**Tabla 14.** . Ancho efectivo de la sección compuesta.

3.1. Ancho efectivo de sección compuesta			
<b>b<sub>e1</sub></b>	2,60	m	$12Tl+Tv$
<b>b<sub>e2</sub></b>	6,88	m	$Lv/4$
<b>b<sub>e3</sub></b>	2,20	m	$S$
<b>b<sub>e4</sub></b>	2,25	m	Ancho aferente viga externa
<b>b<sub>e5</sub></b>	2,40	m	$6Tl+Tv/2+S/2$
<b>b<sub>e6</sub></b>	2,45	m	$6Tl+Tv/2+Voladizo$
<b>b<sub>e</sub></b>	1,80	m	Ancho efectivo de sección

**Fuente.** Los Autores

Las propiedades geométricas de la sección simple y de la sección compuesta se presentan en la tabla 15, donde se denota la sección bruta de concreto, desestimando los ductos de presfuerzo.

**Tabla 15.** Propiedades de la sección simple y de la sección compuesta.

3.2. Propiedades de la sección simple				3.3. Propiedades de la sección compuesta			
<b>A<sub>ss</sub></b>	0,355	m <sup>2</sup>	Área	<b>A<sub>sc</sub></b>	0,714	m <sup>2</sup>	Área
<b>Y<sub>is</sub></b>	0,536	m	Centroide inferior	<b>Y<sub>ic</sub></b>	0,870	m	Centroide inferior
<b>Y<sub>ss</sub></b>	0,564	m	Centroide superior	<b>Y<sub>sc</sub></b>	0,430	m	Centroide superior
<b>I<sub>ss</sub></b>	0,048	m <sup>4</sup>	Inercia alrededor del eje X	<b>I<sub>sc</sub></b>	0,128	m <sup>4</sup>	Inercia alrededor del eje X
<b>S<sub>is</sub></b>	0,090	m <sup>3</sup>	Módulo inferior	<b>S<sub>ic</sub></b>	0,147	m <sup>3</sup>	Módulo inferior
<b>S<sub>ss</sub></b>	0,086	m <sup>3</sup>	Módulo superior	<b>S<sub>sc</sub></b>	0,298	m <sup>3</sup>	Módulo superior

**Fuente.** Los Autores

#### 4.2.1.4 Datos de las cargas

- Carga Muerta de la losa

$$Losa = L_o * T_l * \gamma$$

$$Losa = 4.5m * 0.20m * \frac{24kN}{m^3} = 21.60 \frac{kN}{m}$$

$$W_{losa} = \frac{Losa}{b_{e4}}$$



$$W_{losa} = \frac{\frac{21,60 kN}{m}}{2,25 m} = 9,60 kN \text{ por metro}$$

- Carga de baranda

$$Baranda = 2 \frac{\frac{kN}{m}}{\frac{2kN}{m}}$$
$$W_{baranda} = \frac{\frac{m}{2,25 m}}{2,25 m} = 0,89 kN \text{ por metro}$$

- Carga del bordillo (anden)

$$Anden = (a_a * h_a * \gamma) * 2$$

$$Anden = \left( 0,20 * 0,25 * 24 \frac{kN}{m^3} \right) * 2 = 2,40 \frac{kN}{m}$$

$$W_{anden} = \frac{Anden}{b_{e4}}$$

$$W_{losa} = \frac{\frac{2,4kN}{m}}{2,25 m} = 1,07 kN \text{ por metro}$$

- Carga de la viga

$$W_{viga} = (A_{ss} * \gamma) \quad Viga = \left( 0,355 m^2 * \frac{24kN}{m^3} \right) = 8,52 kN \text{ por metro}$$

- Carga muerta total DC

$$w_{total} = 9,60 + 0,89 + 1,07 + 8,52 = 20,08 kN \text{ por metro}$$

En la siguiente tabla se consignan los valores anteriormente hallados.

**Tabla 16.** Carga muerta y sobreimpuesta.

<b>4.1. Carga muerta y sobreimpuesta</b>			
<b>Losa</b>	21,60	9,60	<i>Carga de la losa</i>
<b>Baranda</b>	2,00	0,89	<i>Carga de las barandas</i>
<b>Andén</b>	2,40	1,07	<i>Carga del andén</i>
<b>Viga</b>	8,52	8,52	<i>Carga de cada viga</i>
<b>W<sub>losa</sub></b>	9,60	KN/m	<i>Carga muerta de la losa</i>
<b>W<sub>csi</sub></b>	1,96	KN/m	<i>Carga muerta sobreimpuesta</i>
<b>W<sub>viga</sub></b>	8,52	KN/m	<i>Carga muerta de la viga</i>
<b>W<sub>total</sub></b>	20,08	KN/m	<i>Total carga muerta</i>

**Fuente.** Los Autores

Para la carga viva peatonal, se toma el valor correspondiente en la Norma CCP-14, de acuerdo con el numeral 3.6.1.6.

<b>4.2. Carga viva peatonal</b>
<i>Esta carga corresponde a un valor de 3.60 kN/m<sup>2</sup> según 3.6.1.6. del CCP-14</i>

- Carga viva peatonal


$$PL = 3.6 \frac{kN}{m^2} * \frac{\text{ancho aferente}}{\# \text{ de vigas}}$$

$$PL = 3.6 \frac{kN}{m^2} * \frac{4m}{2} = 7.2 \frac{kN}{m}$$

En la tabla No 17, contiene el cálculo de los esfuerzos limites tanto de tracción como de compresión, estos se hallaron con las siguientes ecuaciones.

### **Esfuerzo límite a tracción**

- Resistencia máxima del concreto a tracción en etapa de servicio de acuerdo con el CCP-14.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

$$\sigma_i = 0,5\sqrt{f'_{cv}}$$

$$\sigma_i = 0,5\sqrt{42\text{Mpa}} = 3,2\text{ Mpa}$$

- Resistencia máxima del concreto a tracción durante la transferencia de acuerdo con el CCP-14.

$$\sigma_i = 0,5\sqrt{f'_{civ}}$$

$$\sigma_i = 0,5\sqrt{38,5\text{Mpa}} = 3,1\text{ Mpa}$$

### **Esfuerzo límite a compresión**

- Resistencia máxima del concreto a compresión en etapa de servicio de acuerdo con el CCP-14.

$$\sigma_s = 0,6 * f'_{cv}$$

$$\sigma_s = 0,6 * 42\text{Mpa} = 25,2\text{ Mpa}$$

- Resistencia máxima del concreto a compresión durante la transferencia de acuerdo con el CCP-14.

$$\sigma_s = 0,6 * f'_{civ}$$

$$\sigma_s = 0,6 * 38,5\text{Mpa} = 23,1\text{ Mpa}$$

**Tabla 17.** Esfuerzos límites.

<b>4.3. Esfuerzos límites</b>			
<b>Esfuerzo límite a tracción</b>			
$\sigma_i$	3,2	MPa	Resistencia máxima del concreto a tracción en etapa de servicio de acuerdo con el CCP-14.
$\sigma_i$	3,1	MPa	Resistencia máxima del concreto a tracción durante la transferencia de acuerdo con el CCP-14.
$\sigma_i$	3,2	MPa	Resistencia máxima del concreto a tracción con cargas sobreimpuestas de acuerdo con el CCP-14.
<b>Esfuerzo límite a compresión</b>			
$\sigma_s$	25,2	MPa	Resistencia máxima del concreto a compresión en etapa de servicio de acuerdo con el CCP-14.
$\sigma_s$	23,1	MPa	Resistencia máxima del concreto a compresión durante la transferencia de acuerdo con el CCP-14.

**Fuente.** Los Autores

#### 4.2.1.5 Análisis Estructural

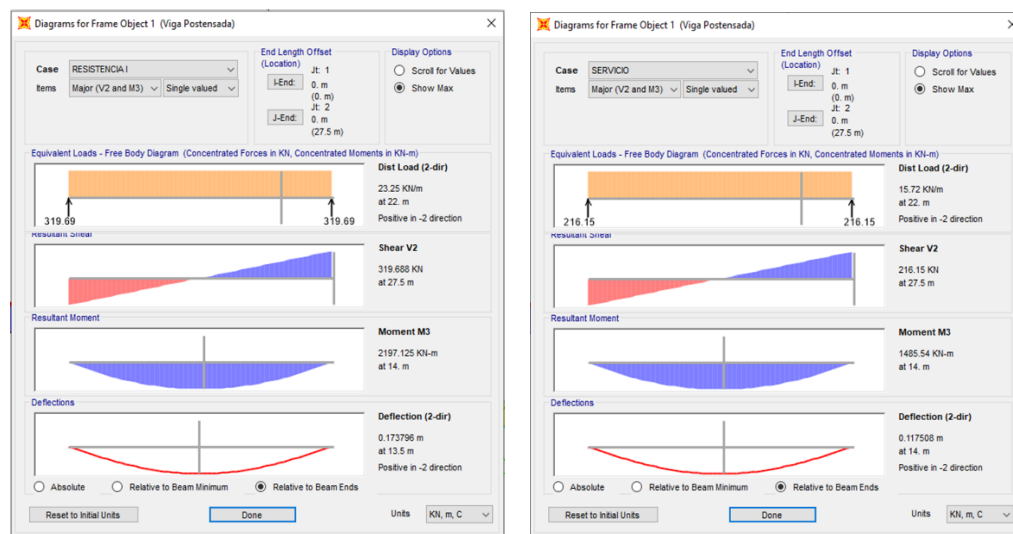
Para el análisis estructural de la viga postensada se realizó el modelado en SAP 2000, mediante el programa se determinaron los momentos y cortantes del comportamiento de la Etapa I, Etapa II y Etapa III. En la tabla 18, se presenta el resumen de los datos obtenidos.

Donde, en la Etapa I, se compone únicamente de la viga postensada, en la Etapa II, se realiza la viga postensada y los elementos como andén y baranda y para la Etapa III, se incluye la segunda fase más la carga viva peatonal, los anteriores datos se encuentran consignados en la tabla 16, tomando únicamente los valores de carga muerta de la baranda y el andén (bordillos), debido a, que el programa determina el valor de la carga de la viga. A continuación, se presenta los resultados obtenidos por el programa, para cada una de las fases.

**Figura 23.** Modelado SAP 2000 Etapa I. (a) Resistencia I, (b) Servicio I.

(a)

(b)

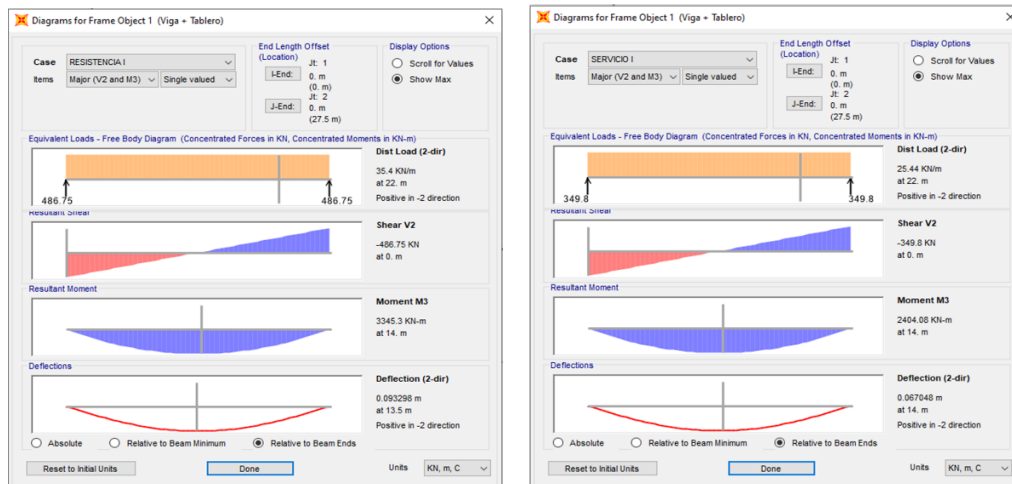


**Fuente.** Los Autores

**Figura 24.** Modelado SAP 2000 Etapa II. (a) Resistencia I, (b) Servicio I.

(a)

(b)



**Fuente.**

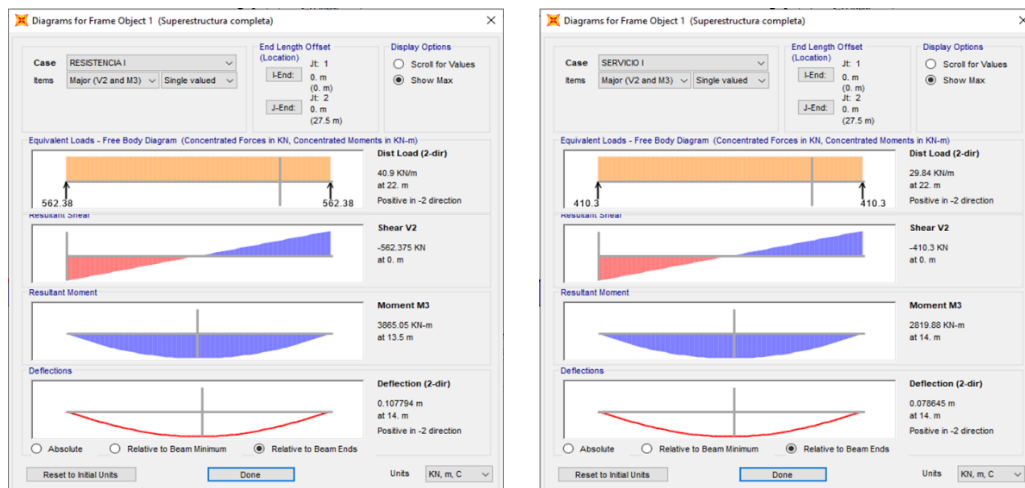
Los

Autores


**Figura 25.** Modelado SAP 2000 Etapa III. (a) Resistencia I, (b) Servicio I.

(a)

(b)



**Fuente.** Los Autores

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

Se presenta en la tabla 18, el resumen de la Etapa III, tabla que nos permite verificar el cortante y momento nominal de la viga.

**Tabla 18.** Resumen cortantes y momentos.

Tabla Resumen				
<b>Carga Viva</b>	<b>V</b>	99,00	kN	<i>Cortante por carga viva</i>
	<b>M</b>	680,40	kN-m	<i>Momento por carga viva</i>
<b>Carga Muerta</b>	<b>V</b>	311,30	kN	<i>Cortante por carga muerta</i>
	<b>M</b>	2139,47	kN-m	<i>Momento por carga muerta</i>
<b>Servicio I</b>	<b>Vs</b>	410,30	kN	<i>Cortante último servicio I</i>
	<b>Ms</b>	2819,88	kN-m	<i>Momento último servicio I</i>
<b>Resistencia I</b>	<b>Vu</b>	562,37	kN	<i>Cortante último resistencia I</i>
	<b>Mu</b>	3865,03	kN-m	<i>Momento último resistencia I</i>

**Fuente.** Los Autores

En la tabla 19, se presentan las solicitaciones en el centro de la luz, donde se consolidan los valores de momento de la viga en la etapa de servicio.

**Tabla 19.** Solicitaciones en el centro de la luz.

Solicitaciones en el centro de luz (KN.m)				
	<b>Servicio</b>	<b>Res I etapa 1</b>	<b>Res I etapa 3</b>	<b>Res I etapa 5</b>
<b>Viga</b>	2819,9	2197,1	3345,3	3865,1

**Fuente.** Los Autores

#### 4.2.1.6 Diseño de los cables

En el diseño de los cables se determinaron las ecuaciones que corresponden a la determinación de fuerza de presfuerzo que incluye número de torones a utilizar en el puente peatonal, esfuerzo último, esfuerzo de fluencia, fuerza admisible de torón postensado, fuerza de pre esfuerzo en el centro de la luz.

- Determinación de fuerza de presfuerzo para  $t=\alpha$

$$P_{t=\alpha} = \frac{(Mu(\text{servicio}) * Y_{ic}) - (I_{sc} * \sigma_i) * A_{sc}}{(I_{sc} + (A_{sc} * Y_{ic} * (Y_{ic} - 0,15)))} \quad P_{\alpha} = \frac{(2819,9 * 0,870) - (0,128 * 3,2) * 0,714}{(0,128 + 0,714 * 0,870 * (0,870 - 0,15))} = 3043,94 \text{ kN}$$





- Determinación de fuerza de presfuerzo para  $t=0$

$$P_0 = \frac{P_{t=0}}{1 - \text{perdidas}\%} \quad P_0 = \frac{3042,94 \text{ kN}}{1 - 6\%} = 3238,24 \text{ kN}$$

- Cálculo de esfuerzo de fluencia de acero de presfuerzo

$$F_{py} = 0,9 * F_{pu} \quad F_{py} = 0,9 * 17590,17 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 15831,153 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- Fuerza admisible de torón

$$F_{padmissible} = 0,8 * F_{py}$$

$$F_{padmissible} = 0,8 * 15831,153 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 12664,92 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- Cálculo del peso y la fuerza de resistencia del torón (tomando torones de 3/8")

$$\text{Peso} = A_t * F_{padmissible}$$


$$\text{Peso} = 0,548 \text{ cm}^2 * 12664,92 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 6940,38 \text{ kg}$$

- Determinación de fuerza de resistencia de torón

$$\text{Fuerza} = 0,0098 * 6940,38 = 68,02 \text{ kN}$$

- Cálculo de número de torones

$$\# \text{Torones} = \frac{P_0}{\text{Fuerza toron}} \quad \# \text{Torones} = \frac{3238,24 \text{ kN}}{68,02 \text{ kN}} = 47,61 \simeq 48$$

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

- Determinación de la fuerza de presfuerzo en el centro de la luz

$$P_{t=0} = \text{fuerza toron} * \# \text{torones} \quad P_{t=0} = 68,02 \text{ kN} * 48 = 3264,75 \text{ kN}$$

- Excentricidad del cable resultante de presfuerzo

$$e = \text{Area de la seccion bruta} - 0,15$$

Dónde 0,15 corresponde a la fibra interior de la sección compuesta

$$e = 0,536 - 0,15 \text{ m} = 0,39 \text{ m}$$

En la tabla 20, se encuentran consignados los valores anteriormente calculados.

**Tabla 20.** Determinación de fuerza de pre esfuerzo.

6.1. Determinación de fuerza de preesfuerzo			
<b>P<sub>α</sub></b>	3043,94	kN	Determinación de fuerza de preesfuerzo para t=α
<b>P<sub>0</sub></b>	3238,24	kN	Determinación de fuerza de preesfuerzo para t=0
<b>Torón</b>	3/8	"	Diámetro de acero de preesfuerzo
<b>A<sub>t</sub></b>	0,548	cm <sup>2</sup>	Área del acero de preesfuerzo
<b># C</b>	3	Nº	Número de cables
<b>F<sub>Pu</sub></b>	1725	Mpa	Esfuerzo ultimo de acero de preesfuerzo en baja relajación tomado de Tabla 5.4.4.1-1 Propiedades de torones según CCP-14
	17590,17	kg/cm <sup>2</sup>	
	250	Grado	
<b>F<sub>Py</sub></b>	15831,153	kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo de fluencia en el acero de preesfuerzo de tabla 5.9.3-1 limite de esfuerzo para los torones CCP-14
<b>F<sub>padmisible</sub></b>	12664,92	kg/cm <sup>2</sup>	Fuerza admisible de toron postensado
<b>P<sub>toron3/8"</sub></b>	6940,38	kg	Fuerza de resistencia de toron
	68,02	kN	
<b># Torones</b>	47,61	Und	Numero de torones
	48,00		
<b>P<sub>t=0</sub></b>	3264,75	kN	Fuerza de preesfuerzo en el centro de la luz
<b>e</b>	0,39	metros	Excentricidad del cable resultante de preesfuerzo

**Fuente.** Los Autores

Seguido de estos cálculos, se procede a realizar la determinación del número de cables que serán utilizados en la viga, se elige utilizar 3 cables para que exista una equidad en cada uno de ellos conformado por 18 torones, en la tabla 21, se encuentra el primer y único tensionamiento a cada uno de los cables.

**Tabla 21.** Primer tensionamiento.

6.2. Primer tensionamiento								
Cable #	# torones	$x_e$ (m)	$y_o$ (m)	$y_e$ (m)	$\Delta y$ (m)	%Tens	$A_{cable}$ (cm <sup>2</sup> )	Fuerza <sub>cable</sub> (kN)
1	16	0	0,15	0,3	0,15	80%	8,8	1193,14944
2	16	0	0,15	0,5	0,35	80%	8,8	1193,14944
3	16	0	0,15	0,7	0,55	80%	8,8	1193,14944

**Fuente.** Los Autores

El porcentaje de tensionamiento se eligió de 80% y para la determinación del área y la fuerza de cada cable se hizo uso de las siguientes ecuaciones.

- Determinación del área en  $cm^2$  de cada cable

$$A_{cable} = A_t * \#torones \text{ por cable}$$

$$A_{cable} = 0,548 \text{ cm}^2 * 16 = 8,8 \text{ cm}^2$$

- Cálculo de fuerza de cada cable

$$Fuerza_{cable} = (A_{cable} * \%tens * F_{py}) / 10$$

$$Fuerza_{cable} = \frac{8,8 * 80\% * 1701}{10} = 1193,15 \text{ kN}$$

Luego de obtener los datos del tensionamiento de los cables se determina la trayectoria de cada uno de ellos en diferentes puntos desde el centro de la luz haciendo uso de la siguiente ecuación y reemplazando en x los diferentes puntos evaluados a lo largo de la viga

$$Trayectoria = \left( \frac{y_e - y_o}{\left(\frac{L_v}{2}\right)^2} * x^2 \right) + y_o$$

En la siguiente tabla se presentan los datos para cada uno de los cables.

**Tabla 22.** Trayectoria de los cables.

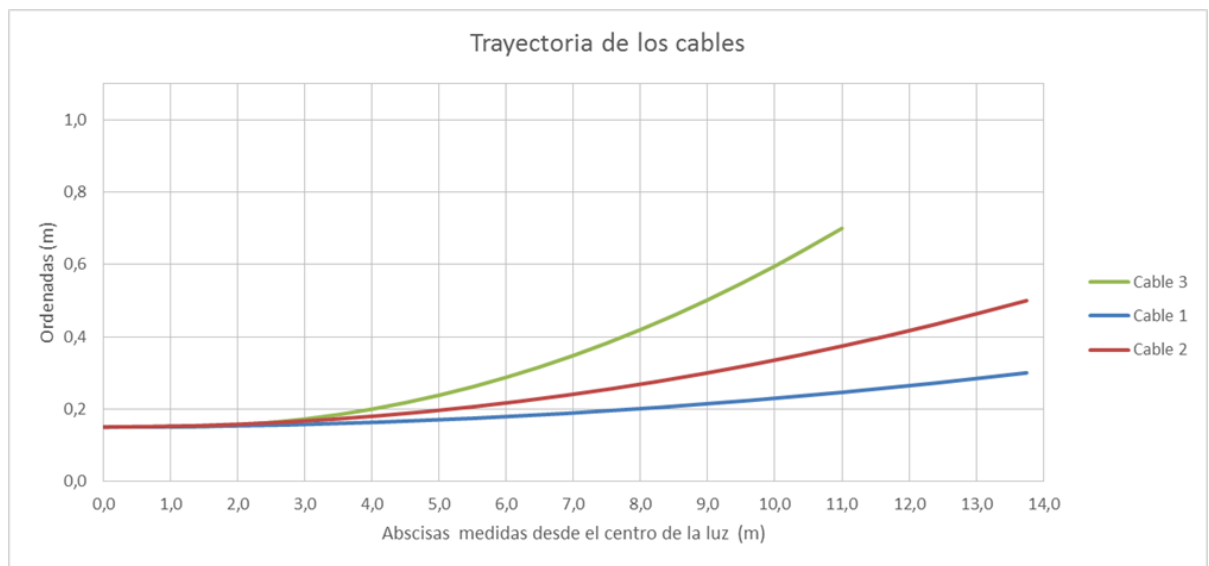
#### 6.4. Trayectoria de los cables

Primer tensionamiento - Trayectoria de los cables medidas desde el centro de la luz (m)											
Cable #	0	1,375	2,75	4,13	5,5	6,875	8,25	9,625	11	12,38	13,75
1	0,150	0,152	0,156	0,164	0,174	0,188	0,204	0,224	0,246	0,272	0,300
2	0,150	0,154	0,164	0,182	0,206	0,238	0,276	0,322	0,374	0,434	0,500
3	0,150	0,156	0,172	0,200	0,238	0,288	0,348	0,420	0,502	0,596	0,700

**Fuente.** Los Autores

En la siguiente grafica se enseña la trayectoria de los cables a lo largo de la mitad de la viga

**Figura 26.** Trayectoria de los cables.



**Fuente.** Los Autores

#### 4.2.1.7 Determinación de estados de esfuerzos en el concreto

##### Verificación de esfuerzos para la Etapa I - Fuerza de presfuerzo más peso propio

A continuación, se realizan los cálculos correspondientes a los esfuerzos admisibles del concreto tanto a compresión como a tracción durante la

transferencia de la etapa No 1 que es aquella donde solo se encuentra el peso propio de la viga.

- Esfuerzo admisible del concreto a compresión

$$\sigma_{admisible} = 0,6 * f'_{civ} \qquad \sigma_{admisible} = 0,6 * 38,5 \text{ Mpa} = 23,1 \text{ Mpa}$$

- Esfuerzo admisible del concreto a tracción

$$\sigma_{admisible} = 0,5 * \sqrt{f'_{civ}} \qquad \sigma_{admisible} = 0,5 * \sqrt{38,5 \text{ Mpa}} = 3,1 \text{ Mpa}$$

Se utiliza un coeficiente de fricción  $\mu=0,20$  y coeficiente de curvatura involuntaria  $k=0,00066$ , de acuerdo con la tabla 5.9.5.2.2b-1 de la norma CCP-14, los valores calculados anteriormente se consignan en la siguiente tabla

**Tabla 23.** Esfuerzos y coeficientes Etapa I.

$\sigma_{admc}$	23,1	MPa	<i>Esfuerzo admisible del concreto a compresión durante la transferencia - Etapa 1</i>
$\sigma_{admt}$	3,1	MPa	<i>Esfuerzo admisible del concreto a tracción durante la transferencia - Etapa 1</i>
$\mu$	0,20		<i>Coeficiente de fricción.</i>
$k$	0,00066	1/m	<i>Coeficiente de curvatura involuntaria.</i>

**Fuente.** Los Autores

En la tabla 24, se encuentran las abscisas medidas desde el centro de la luz, junto con las cargas, excentricidad, momento flector debido al peso propio de la viga y la verificación para compresión y tracción.

**Tabla 24.** Verificación de esfuerzos Etapa I.

X (m)	Abscisas medidas desde el centro de la luz										
	0,0	1,4	2,8	4,1	5,5	6,9	8,3	9,6	11,0	12,4	13,8
A (m <sup>2</sup> )	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355
S <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
S <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
μa <sub>1</sub>	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
μa <sub>2</sub>	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005
kx	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
P <sub>1</sub> (KN)	1193,1	1194,5	1195,8	1197,2	1198,5	1199,9	1201,2	1202,6	1203,9	1205,3	1206,7
P <sub>2</sub> (KN)	1193,1	1191,5	1189,8	1188,1	1186,4	1184,7	1183,1	1181,4	1179,7	1178,0	1176,4
e <sub>1</sub> (m)	0,39	0,38	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,31	0,29	0,26	0,24
e <sub>2</sub> (m)	0,39	0,38	0,37	0,35	0,33	0,30	0,26	0,21	0,16	0,10	0,04
ΣPe (m)	921,7	915,7	897,7	867,8	826,0	772,4	707,0	629,9	540,9	440,2	327,8
ΣP (KN)	2386,3	2386,0	2385,6	2385,3	2384,9	2384,6	2384,3	2384,0	2383,6	2383,3	2383,0
M <sub>DC</sub> (KN.m)	809,4	801,3	777,1	736,9	680,5	608,0	498,1	411,6	262,0	149,1	0,0
σ <sub>inf</sub> (MPa)	-8,0	-8,0	-8,1	-8,2	-8,3	-8,5	-9,0	-9,1	-9,8	-10,0	-10,4
σ <sub>sup</sub> (MPa)	-5,4	-5,4	-5,3	-5,2	-5,0	-4,8	-4,3	-4,2	-3,5	-3,3	-2,9
σ <sub>adm</sub> (MPa)	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1
σ <sub>adm</sub> (MPa)	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Cumple c	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Cumple t	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Fuente. Los Autores

Para el cálculo del momento flector se hizo uso de la siguiente ecuación

$$M_{DC} = 39,52x - 0,95x^2 - 5,32(x - 1,75)$$

### Verificación de esfuerzos para la Etapa II – Etapa I + peso de la losa


A continuación, se realizan los cálculos correspondientes a los esfuerzos admisibles del concreto tanto a compresión como a tracción durante la transferencia de la Etapa II que es aquella que corresponde a la etapa 1 más el peso de la losa.

- Esfuerzo admisible del concreto a compresión

$$\sigma_{admissible} = 0,6 * f'_{civ} \quad \sigma_{admissible} = 0,6 * 38,5 \text{ Mpa} = 23,1 \text{ Mpa}$$

- Esfuerzo admisible del concreto a tracción

$$\sigma_{admissible} = 0,5 * \sqrt{f'_{civ}} \quad \sigma_{admissible} = 0,5 * \sqrt{38,5 \text{ Mpa}} = 3,1 \text{ Mpa}$$

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

Se utiliza un coeficiente de fricción  $\mu=0,25$  y coeficiente de curvatura involuntaria  $k=0,00066$ , de acuerdo tabla 5.9.5.2.2b-1 del CCP-14, adicionalmente se tiene en cuenta las pérdidas del acero de presfuerzo, los valores hallados anteriormente se consignan en la siguiente tabla 25.

**Tabla 25.** Esfuerzos y coeficientes Etapa II.

$\sigma_{admc}$	23,1	MPa	Esfuerzo admisible del concreto a compresión durante la transferencia - Etapa 2
$\sigma_{admt}$	3,1	MPa	Esfuerzo admisible del concreto a tracción durante la transferencia - Etapa 2
$\mu$	0,25		Coeficiente de fricción.
$k$	0,00066	1/m	Coeficiente de curvatura involuntaria.
	10,96	%	Pérdidas del acero de presfuerzo

**Fuente.** Los Autores

En la siguiente tabla 26, se encuentran las abscisas medidas desde el centro de la luz, junto con las cargas, excentricidad, momento flector debido al peso propio de la viga y la losa, y la verificación para compresión y tracción.

**Tabla 26.** Verificación de esfuerzos Etapa II.

	Abscisas medidas desde el centro de la luz										
X (m)	0,0	1,4	2,8	4,1	5,5	6,9	8,3	9,6	11,0	12,4	13,8
A (m <sup>2</sup> )	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355
S <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
S <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
$\mu a_1$	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
$\mu a_2$	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005
kx	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
P <sub>1</sub> (KN)	1193,1	1194,6	1196,0	1197,4	1198,8	1200,2	1201,6	1203,0	1204,5	1205,9	1207,3
P <sub>2</sub> (KN)	1193,1	1191,5	1189,8	1188,1	1186,4	1184,7	1183,1	1181,4	1179,7	1178,0	1176,4
e <sub>1</sub> (m)	0,39	0,38	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,31	0,29	0,26	0,24
e <sub>2</sub> (m)	0,39	0,38	0,37	0,35	0,33	0,30	0,26	0,21	0,16	0,10	0,04
$\Sigma Pe$ (m)	921,7	915,7	897,7	867,8	826,1	772,6	707,2	630,0	541,0	440,3	327,9
$\Sigma P$ (KN)	2386,3	2386,0	2385,7	2385,5	2385,2	2384,9	2384,7	2384,4	2384,2	2383,9	2383,7
M <sub>DC</sub> (KN.m)	1830,3	1812,0	1757,2	1665,9	1538,1	1373,7	1124,5	928,4	589,2	333,0	0,0
$\sigma_{inf}$ (MPa)	3,4	3,2	2,8	2,2	1,2	0,0	-2,1	-3,4	-6,2	-7,9	-10,4
$\sigma_{sup}$ (MPa)	-17,3	-17,2	-16,8	-16,0	-15,0	-13,7	-11,6	-10,2	-7,3	-5,5	-2,9
$\sigma_{admc}$ (MPa)	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1
$\sigma_{admt}$ (MPa)	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Cumple c	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Cumple t	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

**Fuente.** Los Autores

### **Verificación de esfuerzos para la Etapa III – Etapa II + carga viva**

A continuación, se realizan los cálculos correspondientes a los esfuerzos admisibles del concreto tanto a compresión como a tracción durante la transferencia de la etapa III que es aquella que integra la totalidad de la superestructura más la carga viva peatonal.

- Esfuerzo admisible del concreto a compresión

$$\sigma_{admisible} = 0,6 * f'_{cv} \qquad \sigma_{admisible} = 0,6 * 42 \text{ Mpa} = 25,2 \text{ Mpa}$$

- Esfuerzo admisible del concreto a tracción

$$\sigma_{admisible} = 0,5 * \sqrt{f'_{cv}} \qquad \sigma_{admisible} = 0,5 * \sqrt{42 \text{ Mpa}} = 3,2 \text{ Mpa}$$

Se utiliza un coeficiente de fricción  $\mu=0,25$  y coeficiente de curvatura involuntaria  $k=0,00066$ , de acuerdo con la tabla 5.9.5.2.2b-1 del CCP-14, los valores hallados anteriormente se consignan en la siguiente tabla

**Tabla 27.** Esfuerzos y coeficientes Etapa III.

$\sigma_{admc}$	25,2	MPa	<i>Esfuerzo admisible del concreto a compresión durante la transferencia - Etapa 3</i>
$\sigma_{admt}$	3,2	MPa	<i>Esfuerzo admisible del concreto a tracción durante la transferencia - Etapa 3</i>
$\mu$	0,25		<i>Coeficiente de fricción.</i>
$k$	0,00066	1/m	<i>Coeficiente de curvatura involuntaria.</i>

**Fuente.** Los Autores

En la siguiente tabla 28, se encuentran las abscisas medidas desde el centro de la luz, junto con las cargas, excentricidad, momento flector debido al peso propio de la viga y la losa, y la verificación para compresión y tracción.



**Tabla 28.** Verificación de esfuerzos Etapa III.

X (m)	Abscisas medidas desde el centro de la luz										
	0,0	1,4	2,8	4,1	5,5	6,9	8,3	9,6	11,0	12,4	13,8
A (m <sup>2</sup> )	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714
S <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298
S <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147
μa <sub>1</sub>	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003
μa <sub>2</sub>	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005
μa <sub>3</sub>	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010
μa <sub>4</sub>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
kx	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
P <sub>1</sub> (KN)	1193,1	1194,6	1196,0	1197,4	1198,8	1200,2	1201,6	1203,0	1204,5	1205,9	1207,3
P <sub>2</sub> (KN)	1193,1	1191,5	1189,8	1188,1	1186,4	1184,7	1183,0	1181,4	1179,7	1178,0	1176,4
P <sub>3</sub> (KN)	1193,1	1195,4	1197,7	1200,0	1202,3	1204,6	1206,9	1209,2	1211,5	1213,8	1216,1
P <sub>4</sub> (KN)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
e <sub>1</sub> (m)	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,68	0,67	0,65	0,62	0,60	0,57
e <sub>2</sub> (m)	0,72	0,72	0,71	0,69	0,66	0,63	0,59	0,55	0,50	0,44	0,37
e <sub>3</sub> (m)	0,72	0,71	0,70	0,67	0,63	0,58	0,52	0,45	0,37	0,27	
e <sub>4</sub> (m)	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87		
ΣPe (m)	2577,6	2566,5	2530,3	2468,9	2382,4	2270,5	2133,4	1970,9	1782,9	1569,5	1123,7
ΣP (KN)	3579,4	3581,4	3583,4	3585,4	3587,5	3589,5	3591,5	3593,6	3595,6	3597,7	3599,8
M <sub>DC</sub> (KN.m)	1830,3	1812,0	1757,2	1665,9	1538,1	1373,7	1124,5	928,4	589,2	333,0	0,0
σ <sub>inf</sub> (MPa)	<b>-10,1</b>	<b>-10,1</b>	<b>-10,3</b>	<b>-10,5</b>	<b>-10,8</b>	<b>-11,1</b>	<b>-11,9</b>	<b>-12,1</b>	<b>-13,1</b>	<b>-13,4</b>	<b>-12,7</b>
σ <sub>sup</sub> (MPa)	<b>-2,5</b>	<b>-2,5</b>	<b>-2,4</b>	<b>-2,3</b>	<b>-2,2</b>	<b>-2,0</b>	<b>-1,6</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,0</b>	<b>-0,9</b>	<b>-1,3</b>
σ <sub>adm</sub> (MPa)	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2
σ <sub>adm</sub> (MPa)	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Cumple c	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>
Cumple t	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>

**Fuente.** Los Autores

#### 4.2.1.8 Pérdidas de fuerza de presfuerzo

##### Cálculo de la longitud y del alargamiento de los cables de presfuerzo.

A continuación, se presentan las ecuaciones para determinar la longitud y el alargamiento de cada uno de los cables

- Determinación de EA

$$EA = \# \text{torones por cable} * A_t * 20000$$

$$EA = 16 * 0,548 * 20000 = 175360 \text{ kN}$$

- Cálculo de fuerza de cada cable (P)

$$Fuerza_{cable} = (A_{cable} * \%tens * F_{py}) / 10$$

$$Fuerza_{cable} = \frac{8,8 * 80\% * 1701}{10} = 1193,15 \text{ kN}$$

- Determinación de alargamiento del cable ( $\Delta L$ )

$$\Delta L = L_{cada \text{ cable}} * EA * P$$

Los valores hallados anteriormente se consignan en la siguiente tabla

**Tabla 29.** Cálculo de longitud y alargamiento.

Cable	L (m)	EA(KN)	P (KN)	$\Delta L$ (m)	
1	27,50	175360	1193,1	0,187	Longitud (L) y alargamiento ( $\Delta L$ ) del cable 1
2	27,51	175360	1193,1	0,187	Longitud (L) y alargamiento ( $\Delta L$ ) del cable 2
3	27,53	175360	1193,1	0,187	Longitud (L) y alargamiento ( $\Delta L$ ) del cable 3

**Fuente.** Los Autores

### Cálculo de las pérdidas por fricción, curvatura y penetración de cuña

Es importante conocer el efecto de penetración de cuña, ya que esta produce una fuerza de rozamiento, para ello se emplearon las siguientes ecuaciones.

- Cálculo de distancia desde el anclaje móvil hasta el punto en el que la fuerza de rozamiento por penetración en cuña es cero.

$$W = \sqrt{\frac{\Delta L_c * E_{PS} * A_t}{\Delta p}}$$

- Cálculo de pérdida de fuerza por unidad de longitud

$$\Delta p = \frac{P_o - P_L}{L}$$

- Penetración de la cuña  $\Delta L_c = 5mm$  para este caso

- Cálculo de pérdida de la fuerza de presfuerzo entre dos secciones de la viga

$$\Delta P = 2 * \Delta p * W$$

En la siguiente tabla se encuentran los datos para cada cable con las respectivas abscisas medidas desde el centro de la luz.

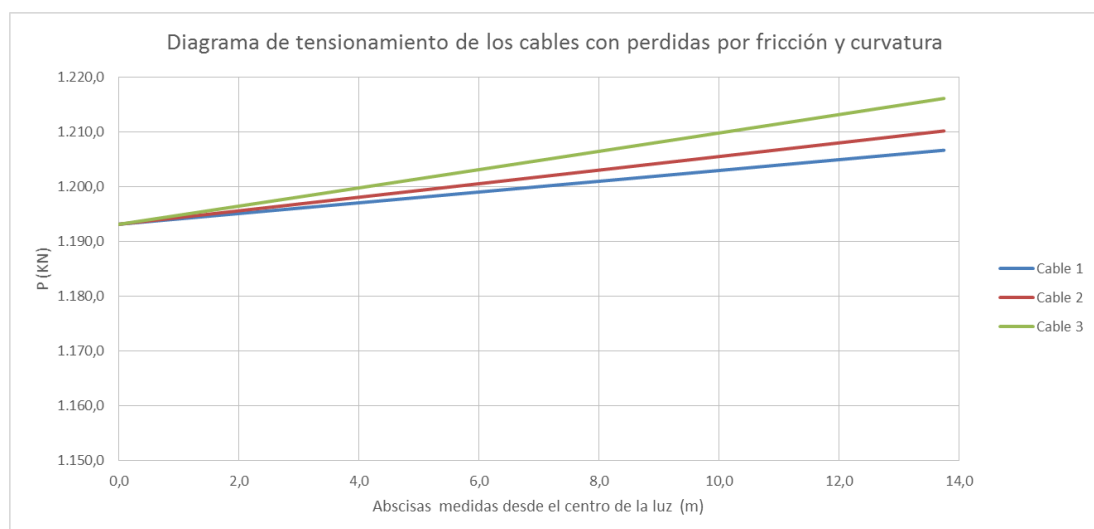
**Tabla 30.** Cálculos de las pérdidas de fricción, curvatura y penetración de cuña.

Cable	P <sub>anc</sub> (KN)	Δp (KN)	ΔL <sub>c</sub> (mm)	W (m)	ΔP (KN)	Abscisas medidas desde el centro de la luz (m)						
						5,5	6,9	8,3	9,6	11,0	12,4	13,8
1	1206,7	0,98668	5	29,81	58,8	1156,0	1154,6	1153,3	1151,9	1150,5	1149,2	1147,8
2	1210,2	1,24407	5	26,548	66,1	1154,4	1152,7	1151,0	1149,2	1147,5	1145,8	1144,1
3	1216,1	1,68221	5	22,83	76,8	1153,2	1150,9	1148,5	1146,2	1143,9	1141,6	1139,3

**Fuente.** Los Autores

A continuación, se presentan los diagramas de tensionamiento de los cables con pérdidas de fricción y curvatura y con pérdidas por penetración de cuña para cada uno de los cables.

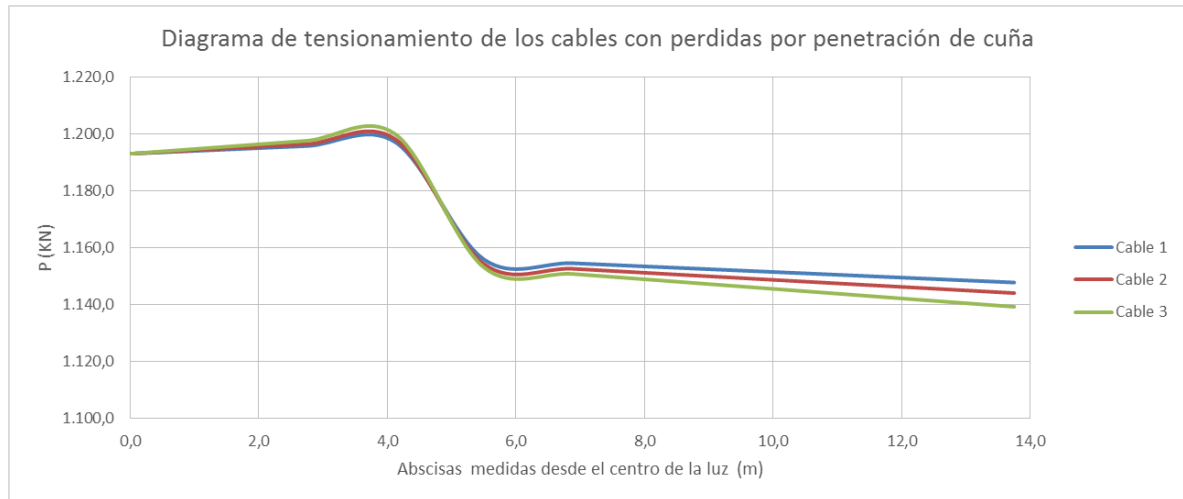
**Figura 27.** Diagrama de tensionamiento de los cables con pérdidas por fricción y curvatura.



**Fuente.** Los Autores



**Figura 28.** Diagrama de tensionamiento de los cables con pérdidas por penetración de cuña.



**Fuente.** Los Autores

### **Cálculo de las pérdidas de presfuerzo para el tensionamiento**

Para el cálculo de la retracción, se tiene en cuenta el valor de la humedad relativa que en la ciudad de Bogotá de acuerdo con el IDEAM es de 80%.

#### **- Retracción**

$$\text{Retracción del fraguado } SH = 0.08 * (1190 - (10.5 * 80)) = 28MPa$$

$$\text{Pérdida por retracción } \Delta P = 28 * \frac{\frac{(16+16)*0.548}{10}}{2} = 24.6MPa$$

#### **- Acortamiento elástico**

$$\text{Modulo del acero } E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulo del concreto } E_{ci} = 0.014 * 2200^{1.5} * \sqrt{38.5 * 10} = 28346MPa$$

$$\text{Esfuerzo en centro de gravedad } E_{ci} = \frac{119310}{3550} - \frac{119310 \cdot 39^2}{4800000} + \frac{809400 \cdot 39}{4800000}$$

$$E_{ci} = -6.40 MPa$$

$$\text{Acortamiento elástico } ES = 0.05 * \frac{-200000 * -6.40}{28346} = 2.3 MPa$$

$$\text{Pérdida por acortamiento } \Delta P = \frac{2.3 * (16+16) * 0.548}{2} = 19.8 kN$$

#### - Flujo plástico

$$\text{Pérdidas por flujo plástico } C_{rc} = -1.2 * -6.4 * 10 * 0.1 = 76.8 MPa$$

$$\text{Pérdidas por flujo plástico } \Delta P = \frac{76.8 * \frac{(16+16) * 0.548}{10}}{2} = 67.4 kN$$

#### - Relajación

$$\text{Relajación } C_{rc} = (350 - (0.1 * 2.3) - (0.05 * (28 + 76.8) - (0.07 * 0))) * 0.1$$

$$C_{rc} = 76.8 MPa$$

$$\text{Pérdidas por relajación } \Delta P = \frac{34.5 * \frac{(16+16) * 0.548}{10}}{2} = 30.2 kN$$

A continuación, se presenta la tabla resumen de las pérdidas en el centro de la luz.

**Tabla 31.** Cálculos de las pérdidas de presfuerzo en el tensionamiento.

Resumen de pérdidas en el centro de la luz		
Item	Valor (KN)	Porcentaje (%)
Fuerza en el gato	1193,1	100,0%
Fricción y curvatura	6,8	0,6%
Retracción	24,6	2,1%
Acortamiento elástico	19,8	1,7%
Flujo plástico	67,4	5,6%
Relajación del acero	30,2	2,5%
Recuperación elástica	17,9	1,5%
<b>Pérdida total</b>	<b>130,8</b>	<b>11,0%</b>

**Fuente.** Los Autores



#### 4.2.1.9 Refuerzo mínimo

##### Verificación de acero mínimo

Se debe realizar la verificación de refuerzo mínimo, para esto se emplearon las siguientes ecuaciones

- Cálculo de  $F_r$

$$F_r = 0,62 * \sqrt{f'_{cv}} \quad F_r = 0,62 * \sqrt{42 \text{ Mpa}} = 4,018 \text{ Mpa}$$

- Cálculo de esfuerzo de compresión en el concreto debido solo a fuerzas efectivas de presfuerzo

$$f_{cpe} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{e} + \frac{\sum P * 0,15}{I_{seccion \ simple}}$$

- Cálculo de momento de fisuración

$$M_{CR} = \gamma_3 * \left( (\gamma_1 * F_r + \gamma_2 * f_{cpe}) * \gamma_1 S_c - M_{dnc} * \left( \frac{S_c}{S_{nc}} - 1 \right) \right)$$


$$M_{CR} = 1 * \left( (1,6 * 4018,059 + 1,1 * 23297,22) * 1,6 * 0,147 - 1830,3 * \left( \frac{0,147}{0,090} - 1 \right) \right)$$

$$M_{CR} = 6385,86 \text{ kN} * m$$

- Cálculo de momento resistente

$$M_n = \frac{0,9 * A_s * f_{ps} * (d_p * 100) - \left( \frac{a}{2} \right)}{10000}$$

$$M_n = \frac{0,9 * 26,3 * 18544 * (0,99 * 100) - \left( \frac{6,832}{2} \right)}{10000} = 4185,2 \text{ para abscisa } 0,0$$

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

La sección no cumple requisitos de refuerzo ya que  $M_n < M_{CR}$ , es por este motivo que se procede a realizar el análisis y cálculo de refuerzo mínimo requerido para la sección, arrojando un número de 6 varillas de 1" como acero de refuerzo mínimo.

**Tabla 32.** Refuerzo mínimo.

$f_r$	4,01806	MPa	Módulo de rotura del concreto de acuerdo con el CCP-14
$f_{cpe}$	23,3	MPa	Esfuerzo de compresión en el concreto debido sólo a fuerzas efectivas de preesfuerzo
$M_{dcn}$	1830,3	KN.m	Momento total no mayorado de carga muerta
$S_c$	0,147	m <sup>3</sup>	Modulo de sección para la fibra extrema de la sección compuesta
$S_{nc}$	0,090	m <sup>3</sup>	Modulo de sección para la fibra extrema de la sección no compuesta
$\gamma_1$	1,6		Factor de variación de la fisuración por flexión
$\gamma_2$	1,1		Factor de variación del preesfuerzo
$\gamma_3$	1,0		Relación entre la resistencia del refuerzo
$M_{cr}$	6385,86	KN.m	Momento de fisuración
$\Phi M_n$	4185,2	KN.m	Momento nominal resistente de la sección
<b>La sección no cumple requisitos de refuerzo mínimo</b>			
<b>Cuantía mínima requerida para la sección es de 6 varillas de 1"</b>			

**Fuente.** Los Autores

### Verificación de la resistencia última a flexión

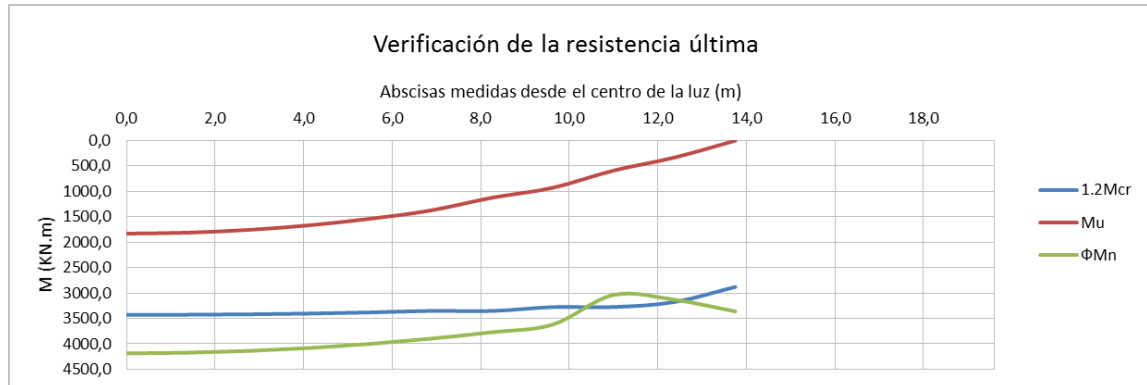
En la tabla 33, se verifica que el momento resistente es mayor al momento último.

**Tabla 33.** Momentos de fisuración, resistente y último.

	Abcisas medidas desde el centro de la luz										
X (m)	0.0	1.4	2.8	4.1	5.5	6.9	8.3	9.6	11.0	12.4	13.8
$M_{cr}$	3427.6	3426.5	3418.5	3403.3	3381.1	3351.8	3352.1	3276.8	3275.6	3175.8	2878.3
$M_u$	1830.3	1812.0	1757.2	1665.9	1538.1	1373.7	1124.5	928.4	589.2	333.0	0.0
$\Phi M_n$	4185.2	4173.7	4139.1	4081.5	4000.8	3897.1	3770.4	3620.5	3037.2	3131.6	3362.1

**Fuente.** Los Autores

**Figura 29.** Diagrama de verificación de la resistencia última.



**Fuente.** Los Autores

### **Refuerzo de retracción y temperatura**

A continuación, se realiza el cálculo del refuerzo de retracción y temperatura, tomando varilla de ½" de diámetro, obteniendo como resultado una separación entre varillas de 0,30 m, estos valores se consignan en la siguiente tabla.

**Tabla 34.** Refuerzo de retracción y temperatura.

<b>As</b>	3,6	cm <sup>2</sup> /m	<i>As Retracción y Temperatura</i>
<b>Φ Varilla</b>	1/2	inch	<i>Diámetro de la varilla en pulgadas</i>
<b>Área</b>	1,29	cm <sup>2</sup>	<i>Area de la varilla en cm<sup>2</sup></i>
<b>S</b>	0,30	m	<i>Separación entre varillas</i>

**Fuente.** Los Autores

#### **4.2.1.10 Diseño a cortante**

En la tabla 35, se presenta los datos obtenidos del diseño a cortante de la viga, donde se determina la separación de los estribos.



**Tabla 35.** Diseño a cortante.

X (m)	Abscisas medidas desde el centro de la luz										
	0,0	1,4	2,8	4,1	5,5	6,9	8,3	9,6	11,0	12,4	13,3
<b>V<sub>d</sub> (KN)</b>	0,0	28,2	56,4	84,6	112,8	140,9	169,1	197,3	225,5	253,7	272,9
<b>V<sub>i</sub> (KN)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>M<sub>cre</sub> (KN.m)</b>	2696,9	2697,5	2695,5	2690,7	2683,0	2672,6	2694,1	2648,0	2675,9	2614,5	2398,6
<b>V<sub>ci</sub> (KN)</b>	1,1	29,3	57,5	85,7	113,9	142,1	170,3	198,5	226,6	254,8	274,0
<b>V<sub>cw</sub> (KN)</b>	264,8	274,0	283,3	292,6	301,9	311,2	320,5	329,9	339,2	348,6	357,9
<b>V<sub>c</sub> (KN)</b>	1,14	29,33	57,52	85,70	113,89	142,08	170,27	198,46	226,64	254,83	274,00
<b>V<sub>u</sub> (KN)</b>	0,0	41,6	83,2	124,9	166,5	208,1	258,7	292,5	343,1	376,9	400,3
<b>V<sub>s</sub> (KN)</b>	0,0	19,6	40,4	61,2	82,0	102,7	134,1	145,6	177,0	188,5	197,0
<b>S (m)</b>	NR	4,78	2,32	1,53	1,15	0,91	0,70	0,64	0,53	0,50	0,48

**Fuente.** Los Autores

Donde se determina una separación máxima de 0.30m para estribos de ½”.

#### 4.2.2 *Viga postensada de 20.0 m*

A continuación, se presentan las memorias de cálculo de la viga postensada en I (simplemente apoyada) para las vigas de 20 m de longitud

##### 4.2.2.1 Materiales

La resistencia de los materiales como el concreto y acero que conformarán la viga del puente peatonal se presenta de la siguiente manera:

##### - **Concreto de la viga**

Peso específico del concreto,  $\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$

Resistencia de concreto de viga,  $f'_{cv} = 42 \text{ MPa}$

Resistencia del concreto de la viga durante la transferencia,  $f'_{civ} = 38.5 \text{ MPa}$

Resistencia del concreto de la losa,  $f'_{cl} = 28 \text{ MPa}$

Resistencia del concreto de la losa durante la transferencia,  $f'_{cl} = 24.5 \text{ MPa}$

##### - **Acero de la viga**

Resistencia del acero de refuerzo,  $f_y = 420 \text{ MPa}$

Resistencia última de acero de presfuerzo,  $f_{pu} = 1890 \text{ MPa}$

Resistencia fluencia del acero de presfuerzo,  $f_{py} = 1701 \text{ MPa}$

#### 4.2.2.2 Geometría del puente

**Tabla 36.** Geometría del puente.

1. Geometría del puente			
<b>L<sub>v</sub></b>	20,0	m	Longitud de la viga
<b>N<sub>v</sub></b>	2	Nº	Numero de vigas
<b>S</b>	2,2	m	Espaciamiento entre vigas
<b>L<sub>o</sub></b>	4,5	m	Ancho del puente
<b>a<sub>a</sub></b>	0,20	m	Ancho del andén (bordillo)
<b>h<sub>a</sub></b>	0,25	m	Altura del andén (bordillo)
<b>N<sub>R</sub></b>	1	Nº	Número de riostras intermedias.
<b>a<sub>R</sub></b>	0,30	m	Ancho de las riostras

**Fuente.** Los Autores

En la tabla 36, se encuentra la geometría del puente, así como longitud de la viga, número de vigas, espaciado entre vigas, ancho del puente, longitudes del bordillo, número y ancho de riostras.

#### 4.2.2.3 Geometría de la viga

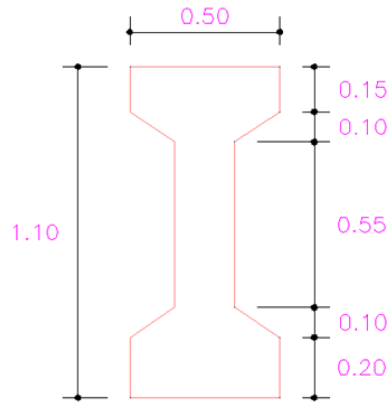
En la tabla 37, se encuentra la geometría completa de la viga postensada, así como de su sección compuesta y de su sección simple.

**Tabla 37.** Geometría de la viga.

3. Geometría de la viga postensada			
<b>H</b>	1,10	m	Altura de la viga
<b>H<sub>1</sub></b>	0,15	m	Altura de la cabeza superior
<b>H<sub>2</sub></b>	0,10	m	Altura acartelamiento superior
<b>H<sub>3</sub></b>	0,10	m	Altura acartelamiento inferior
<b>H<sub>4</sub></b>	0,20	m	Altura de la cabeza inferior
<b>T<sub>v</sub></b>	0,20	m	Ancho del alma
<b>B<sub>s</sub></b>	0,50	m	Ancho cabeza superior
<b>B<sub>i</sub></b>	0,50	m	Ancho cabeza inferior
<b>T<sub>l</sub></b>	0,20	m	Espesor de la losa
<b>L<sub>b</sub></b>	1,30	m	Longitud bloque anclaje
<b>L<sub>t</sub></b>	0,50	m	Longitud de transición

**Fuente.** Los Autores

**Figura 30.** Geometría de la viga postensada.



**Fuente.** Los Autores

En la siguiente tabla se consignan los datos correspondientes a ancho efectivo de la sección compuesta.

**Tabla 38.** Ancho efectivo de la sección compuesta.

<b>b<sub>e1</sub></b>	2,60	m	$12Tl+Tv$
<b>b<sub>e2</sub></b>	5,00	m	$Lv/4$
<b>b<sub>e3</sub></b>	2,20	m	$S$
<b>b<sub>e4</sub></b>	2,25	m	Ancho aferente viga externa
<b>b<sub>e5</sub></b>	2,40	m	$6Tl+Tv/2+S/2$
<b>b<sub>e6</sub></b>	2,45	m	$6Tl+Tv/2+Voladizo$
<b>b<sub>e</sub></b>	1,80	m	Ancho efectivo de sección

**Fuente.** Los Autores

Las propiedades geométricas de la sección simple y de la sección compuesta se presentan en la tabla 39, donde se denota la sección bruta de concreto, desestimando los ductos de presfuerzo.



**Tabla 39.** Geometría de la viga postensada.

3.2. Propiedades de la sección simple				3.3. Propiedades de la sección compuesta			
$A_{ss}$	0,355	$m^2$	Área	$A_{sc}$	0,714	$m^2$	Área
$Y_{is}$	0,536	m	Centroide inferior	$Y_{ic}$	0,870	m	Centroide inferior
$Y_{ss}$	0,564	m	Centroide superior	$Y_{sc}$	0,430	m	Centroide superior
$I_{ss}$	0,048	$m^4$	Inercia alrededor del eje X	$I_{sc}$	0,128	$m^4$	Inercia alrededor del eje X
$S_{is}$	0,090	$m^3$	Módulo inferior	$S_{ic}$	0,147	$m^3$	Módulo inferior
$S_{ss}$	0,086	$m^3$	Módulo superior	$S_{sc}$	0,298	$m^3$	Módulo superior

**Fuente.** Los Autores

Datos de las cargas

A continuación, se presentan los cálculos de los datos de las cargas que tiene el puente peatonal

- Carga muerta de la losa

$$Losa = L_o * T_l * \gamma$$

$$Losa = 4.5m * 0.20m * \frac{24kN}{m^3} = 21.60 \frac{kN}{m}$$

$$W_{losa} = \frac{Losa}{b_{e4}}$$

$$W_{losa} = \frac{\frac{21,60kN}{m}}{2,25 m} = 9,60 kN \text{ por metro}$$

- Carga de la baranda

$$Baranda = 2 \frac{kN}{m}$$

$$W_{baranda} = \frac{\frac{2kN}{m}}{2,25 m} = 0,89 kN \text{ por metro}$$

- Carga del bordillo (anden)

$$Anden = (a_a * h_a * \gamma) * 2$$



$$Anden = \left( 0,20 * 0,25 * 24 \frac{kN}{m^3} \right) * 2 = 2,40 \frac{kN}{m}$$

$$W_{anden} = \frac{Anden}{b_{e4}}$$

$$W_{losa} = \frac{\frac{2,4kN}{m}}{2,25 m} = 1,07 kN \text{ por metro}$$

- Carga de la viga

$$W_{viga} = (A_{ss} * \gamma) \quad Viga = (0,355 m^2 * \frac{24kN}{m^3}) = 8,52 kN \text{ por metro}$$

- Carga muerta total DW

$$w_{total} = 9,60 + 0,89 + 1,07 + 8,52 = 20,08 kN \text{ por metro}$$

En la siguiente tabla se consignan los valores anteriormente hallados.

**Tabla 40.** Carga muerta y sobreimpuesta.

<b>4.1. Carga muerta y sobreimpuesta</b>			
<b>Losa</b>	21,60	9,60	<i>Carga de la losa</i>
<b>Baranda</b>	2,00	0,89	<i>Carga de las barandas</i>
<b>Andén</b>	2,40	1,07	<i>Carga del andén</i>
<b>Viga</b>	8,52	8,52	<i>Carga de cada viga</i>
<b>W<sub>losa</sub></b>	9,60	KN/m	<i>Carga muerta de la losa</i>
<b>W<sub>csi</sub></b>	1,96	KN/m	<i>Carga muerta sobreimpuesta</i>
<b>W<sub>viga</sub></b>	8,52	KN/m	<i>Carga muerta de la viga</i>
<b>W<sub>total</sub></b>	20,08	KN/m	<i>Total carga muerta</i>

**Fuente.** Los Autores

Para la carga viva peatonal, se toma el valor correspondiente en la Norma CCP-14, de acuerdo con el numeral 3.61.6.



#### 4.2. Carga viva peatonal

*Esta carga corresponde a un valor de  $3.60 \text{ kN/m}^2$  según 3.6.1.6. del CCP-14*

- Carga viva peatonal

$$PL = 3.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * \frac{\text{ancho aferente}}{\# \text{ de vigas}}$$

$$PL = 3.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * \frac{4\text{m}}{2} = 7.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

En la tabla 41, contiene el cálculo de los esfuerzos límites tanto de tracción como de compresión, estos se hallaron con las siguientes ecuaciones.

#### Esfuerzo límite a tracción

- Resistencia máxima del concreto a tracción en etapa de servicio de acuerdo con el CCP-14.

$$\sigma_i = 0,5\sqrt{f'_{cv}}$$

$$\sigma_i = 0,5\sqrt{42\text{Mpa}} = 3,2 \text{ Mpa}$$

- Resistencia máxima del concreto a tracción durante la transferencia de acuerdo con el CCP-14.

$$\sigma_i = 0,5\sqrt{f'_{civ}}$$

$$\sigma_i = 0,5\sqrt{38,5\text{Mpa}} = 3,1 \text{ Mpa}$$

#### Esfuerzo límite a compresión

- Resistencia máxima del concreto a compresión en etapa de servicio de acuerdo con el CCP-14.

$$\sigma_s = 0,6 * f'_{cv}$$

$$\sigma_s = 0,6 * 42\text{Mpa} = 25,2 \text{ Mpa}$$

- Resistencia máxima del concreto a compresión durante la transferencia de acuerdo con el CCP-14.

$$\sigma_s = 0,6 * f'_{civ}$$

$$\sigma_s = 0,6 * 38,5 \text{ Mpa} = 23,1 \text{ Mpa}$$

**Tabla 41.** Esfuerzos límites.

4.3. Esfuerzos límites				
Esfuerzo límite a tracción				
$\sigma_t$	3,2	MPa	Resistencia máxima del concreto a tracción en etapa de servicio de acuerdo con el CCP-14.	
$\sigma_t$	3,1	MPa	Resistencia máxima del concreto a tracción durante la transferencia de acuerdo con el CCP-14.	
$\sigma_t$	3,2	MPa	Resistencia máxima del concreto a tracción con cargas sobreimpuestas de acuerdo con el CCP-14.	
Esfuerzo límite a compresión				
$\sigma_s$	25,2	MPa	Resistencia máxima del concreto a compresión en etapa de servicio de acuerdo con el CCP-14.	
$\sigma_s$	23,1	MPa	Resistencia máxima del concreto a compresión durante la transferencia de acuerdo con el CCP-14.	

**Fuente.** Los Autores

#### 4.2.2.4 Análisis Estructural

Para el análisis estructural de la viga postensada se realizó el modelado en SAP 2000, mediante el programa se determinaron los momentos y cortantes del comportamiento de la Etapa I, Etapa II y Etapa III. A continuación, en la tabla 42, se presenta el resumen de los datos obtenidos.

**Tabla 42.** Resumen de cortantes y momentos.

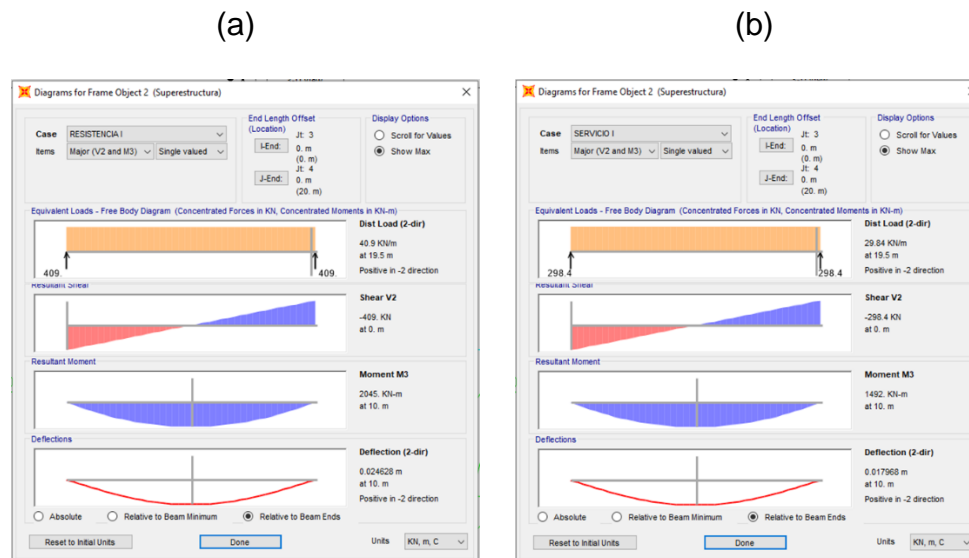
Tabla Resumen				
<b>Carga Viva</b>	<b>V</b>	72,00	kN	Cortante por carga viva
	<b>M</b>	360,00	kN-m	Momento por carga viva
<b>Carga Muerta</b>	<b>V</b>	226.4	kN	Cortante por carga muerta
	<b>M</b>	1133,00	kN-m	Momento por carga muerta
<b>Servicio I</b>	<b>Vs</b>	298,40	kN	Cortante último servicio I
	<b>Ms</b>	1492,00	kN-m	Momento último servicio I
<b>Resistencia I</b>	<b>Vu</b>	409,00	kN	Cortante último resistencia I
	<b>Mu</b>	2045,00	kN-m	Momento último resistencia I

**Fuente.** Los Autores

Donde, en la Etapa I se compone de únicamente la viga postensada, en la Etapa II se realiza la viga y los elementos como andén y baranda y para la Etapa III se incluye la segunda fase más la carga viva peatonal, los anteriores datos se encuentran consignados en la tabla 40, tomando únicamente los valores de carga muerta de la baranda y el andén (bordillos), debido a, que el programa determina

la carga de la viga. A continuación, se presenta los resultados obtenidos por el programa, para cada una de las fases.

**Figura 31.** Modelado SAP 2000 Etapa I. (a) Resistencia I, (b) Servicio I.

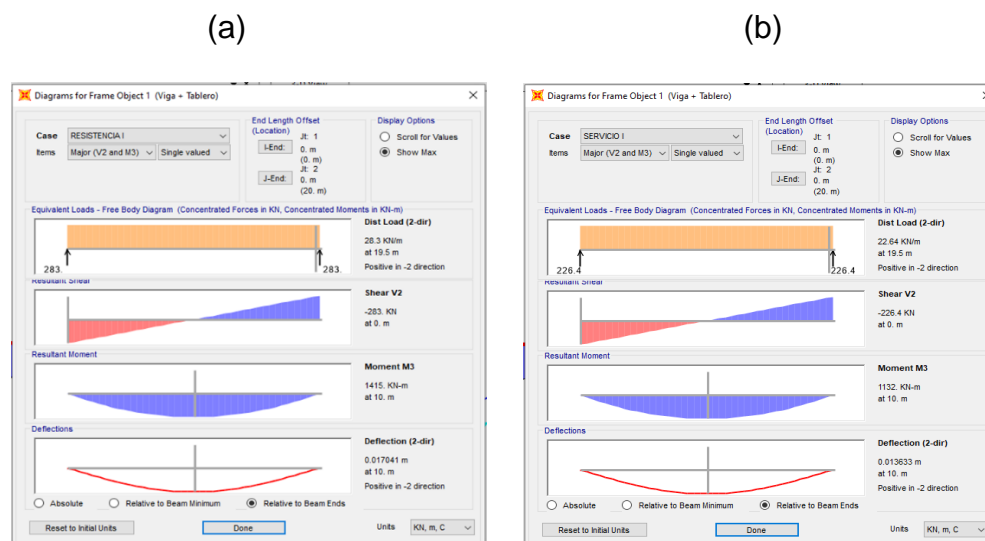


**Fuente.**

Los

Autores

**Figura 32.** Modelado SAP 2000 Etapa II. (a) Resistencia I, (b) Servicio I.



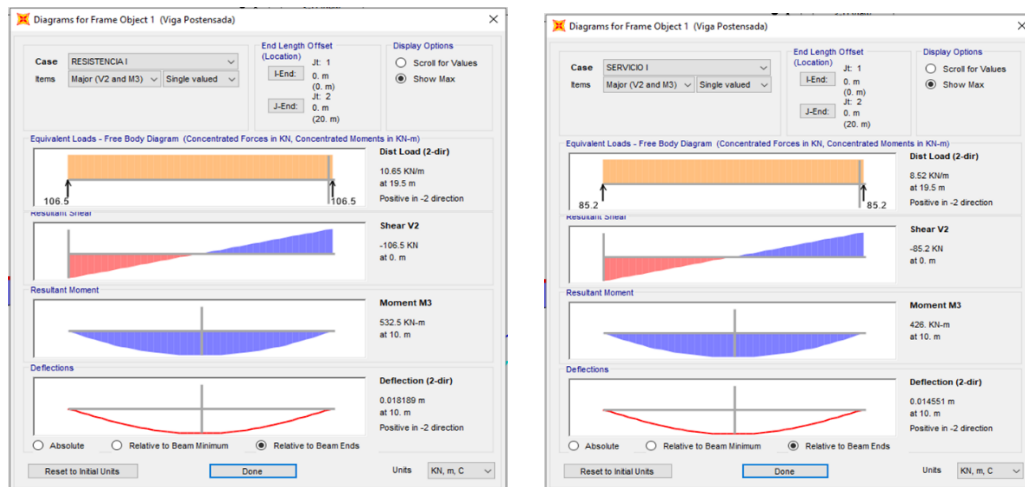
**Fuente.** Los Autores



**Figura 33.** Modelado SAP 2000 Etapa III. (a) Resistencia I, (b) Servicio I.

(a)

(b)




**Fuente.** Los Autores

A continuación, en la tabla 43, se presentan las solicitaciones en el centro de la luz, donde se consolidan los valores de momento de la viga en la etapa de servicio, en la etapa 1 que corresponde a sola la viga postensada, en la etapa 3 que corresponde a viga más tablero y la etapa 5 que corresponde a superestructura (viga + tablero) más cargas de funcionamiento

**Tabla 43.** Solicitaciones en el centro de la luz.

Solicitaciones en el centro de luz (KN.m)				
	Servicio	Res I etapa1	Res I etapa 3	Res I etapa 5
Viga	1492,0	532,5	1415,0	2045,0

**Fuente.** Los Autores

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

#### 4.2.2.5 Diseño de los cables

A continuación, se presentan las ecuaciones correspondientes a la determinación de fuerza de presfuerzo que incluye número de torones a utilizar en el puente peatonal, esfuerzo último, esfuerzo de fluencia, fuerza admisible de torón postensado, fuerza de presfuerzo en el centro de la luz.

- Determinación de fuerza de presfuerzo para  $t=\alpha$

$$P_{t=\alpha} = \frac{(Mu(\text{servicio}) * Y_{ic}) - (I_{sc} * \sigma_i) * A_{sc}}{(I_{sc} + (A_{sc} * Y_{ic} * (Y_{ic} - 0,15)))} \quad P_{\alpha} = \frac{(1492 * 0,870) - (0,128 * 3,2) * 0,714}{(0,128 + 0,714 * 0,870 * (0,870 - 0,15))} = 1610,31 \text{ kN}$$

- Determinación de fuerza de presfuerzo para  $t=0$

$$P_0 = \frac{P_{t=\alpha}}{1 - \text{perdidas}\%} \quad P_0 = \frac{1610,31}{1 - 6\%} = 1713,10 \text{ kN}$$

- Cálculo de esfuerzo de fluencia de acero de presfuerzo

$$F_{py} = 0,9 * F_{pu} \quad F_{py} = 0,9 * 17590,17 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 15831,153 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$


- Fuerza admisible de torón

$$F_{padmissible} = 0,8 * F_{py}$$

$$F_{padmissible} = 0,8 * 15831,153 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 12664,92 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

- Cálculo del peso y la fuerza de resistencia del torón (tomando torones de 3/8")

$$Peso = At * F_{padmissible}$$

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

$$Peso = 0,548 \text{ cm}^2 * 12664,92 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} = 6940,38 \text{ kg}$$

- Determinación de fuerza de resistencia del torón

$$Fuerza = 0,0098 * 6940,38 = 68,02 \text{ kN}$$

- Cálculo de número de torones

$$\#Torones = \frac{P_o}{Fuerza \text{ toron}} \quad \#Torones = \frac{1713,10 \text{ kN}}{68,02 \text{ kN}} = 25,19 \simeq 26$$

- Determinación de la fuerza de presfuerzo en el centro de la luz

$$P_{t=0} = fuerza \text{ toron} * \#torones \quad P_{t=0} = 68,02 \text{ kN} * 26 = 1768,41 \text{ kN}$$


- Excentricidad del cable resultante de presfuerzo

$$e = Area \text{ de la seccion bruta} - 0,15$$

Dónde 0,15 corresponde a la fibra interior de la sección compuesta

$$e = 0,536 - 0,15 \text{ m} = 0,39 \text{ m}$$

En la siguiente tabla se encuentran consignados los valores anteriormente calculados.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

**Tabla 44.** Determinación de la fuerza de presfuerzo.

6.1. Determinación de fuerza de presfuerzo			
$P_{\alpha}$	1610,31	kN	Determinación de fuerza de presfuerzo para $t = \alpha$
$P_0$	1713,10	kN	Determinación de fuerza de presfuerzo para $t = 0$
Torón	3/8	"	Diámetro de acero de presfuerzo
$A_t$	0,548	cm <sup>2</sup>	Área del acero de presfuerzo
# C	3	Nº	Número de cables
$F_{Pu}$	1725	Mpa	Esfuerzo ultimo de acero de presfuerzo en baja relajación tomado de Tabla 5.4.4.1-1 Propiedades de torones según CCP-14
	17590,17	kg/cm <sup>2</sup>	
	250	Grado	
$F_{Py}$	15831,153	kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo de fluencia en el acero de presfuerzo de tabla 5.9.3-1 limite de esfuerzo para los torones CCP-14
$F_{padmisible}$	12664,92	kg/cm <sup>2</sup>	Fuerza admisible de toron postensado
$P_{toron 3/8''}$	6940,38	kg	Fuerza de resistencia de toron
	68,02	kN	
# Torones	25,19	Und	Numero de torones
	26,00		
$P_{t=0}$	1768,41	kN	Fuerza de presfuerzo en el centro de la luz
e	0,39	metros	Excentricidad del cable resultante de presfuerzo

**Fuente.** Los Autores

Seguido de estos cálculos, se procede a realizar la determinación del número de cables que serán utilizados en la viga, se elige utilizar 3 cables para que exista una equidad en cada uno de ellos conformado por 18 torones, en la tabla 45, se encuentra el primer y único tensionamiento a cada uno de los cables.

**Tabla 45.** Primer tensionamiento.

6.2. Primer tensionamiento								
Cable #	# torones	$x_e$ (m)	$y_o$ (m)	$y_e$ (m)	$\Delta y$ (m)	%Tens	$A_{cable}$ (cm <sup>2</sup> )	Fuerza <sub>cable</sub> (kN)
1	9	0	0,15	0,3	0,15	80%	4,9	671,14656
2	9	0	0,15	0,5	0,35	80%	4,9	671,14656
3	8	0	0,15	0,7	0,55	80%	4,4	596,57472

**Fuente.** Los Autores

El porcentaje de tensionamiento se eligió de 80% y para la determinación del área y la fuerza de cada cable se hizo uso de las siguientes ecuaciones.

- Determinación del área en cm<sup>2</sup> de cada cable

$$A_{cable} = A_t * \#torones \text{ por cable}$$

$$A_{cable1-2} = 0,548 \text{ cm}^2 * 9 = 4,9 \text{ cm}^2$$

$$A_{cable3} = 0,548 \text{ cm}^2 * 8 = 4,4 \text{ cm}^2$$

- Cálculo de fuerza de cada cable

$$Fuerza_{cable} = (A_{cable} * \%tens * F_{py})/10$$

$$Fuerza_{cable1-2} = \frac{4,9 * 80\% * 1701}{10} = 671,15 \text{ kN}$$

$$Fuerza_{cable3} = \frac{4,4 * 80\% * 1701}{10} = 596,57 \text{ kN}$$

Luego de obtener los datos del tensionamiento de los cables se determina la trayectoria de cada uno de ellos en diferentes puntos desde el centro de la luz haciendo uso de la siguiente ecuación y reemplazando en x los diferentes puntos evaluados a lo largo de la viga

$$Trayectoria = \left( \frac{y_e - y_o}{\left(\frac{L_v}{2}\right)^2} * x^2 \right) + y_o$$

En la siguiente tabla se presentan los datos para cada uno de los cables.

**Tabla 46.** Trayectoria de los cables.

#### 6.4. Trayectoria de los cables

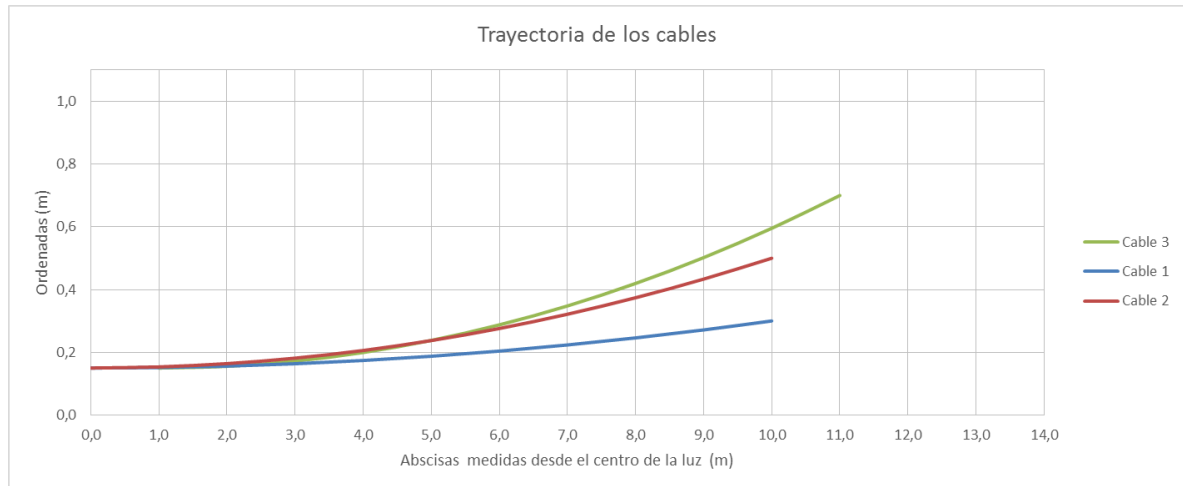
Primer tensionamiento - Trayectoria de los cables medidas desde el centro de la luz (m)											
Cable #	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,150	0,152	0,156	0,164	0,174	0,188	0,204	0,224	0,246	0,272	0,300
2	0,150	0,154	0,164	0,182	0,206	0,238	0,276	0,322	0,374	0,434	0,500
3	0,150	0,156	0,172	0,200	0,238	0,288	0,348	0,420	0,502	0,596	0,700

**Fuente.** Los Autores



En la siguiente grafica se enseña la trayectoria de los cables a lo largo de la mitad de la viga

**Figura 34.** Trayectoria de los cables.



**Fuente.** Los Autores

#### 4.2.2.6 Determinación de los estados de esfuerzos en el concreto


##### Verificación de esfuerzos para la Etapa I - Fuerza de presfuerzo más peso propio

A continuación, se realizan los cálculos correspondientes a los esfuerzos admisibles del concreto tanto a compresión como a tracción durante la transferencia de la etapa No 1 que es aquella donde solo se encuentra el peso propio de la viga.

- Esfuerzo admisible del concreto a compresión

$$\sigma_{admissible} = 0,6 * f'_{civ} \qquad \sigma_{admissible} = 0,6 * 38,5 \text{ Mpa} = 23,1 \text{ Mpa}$$

- Esfuerzo admisible del concreto a tracción

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

$$\sigma_{admisible} = 0,5 * \sqrt{f'_{civ}}$$

$$\sigma_{admisible} = 0,5 * \sqrt{38,5Mpa} = 3,1 Mpa$$

Se utiliza un coeficiente de fricción  $\mu=0,20$  y coeficiente de curvatura involuntaria  $k=0,00066$ , de acuerdo con la tabla 5.9.5.2.2b-1 de la norma CCP-14, los valores calculados anteriormente se consignan en la siguiente tabla

**Tabla 47.** Esfuerzos y coeficientes Etapa I.

$\sigma_{admc}$	23,1	MPa	Esfuerzo admisible del concreto a compresión durante la transferencia - Etapa 1
$\sigma_{admt}$	3,1	MPa	Esfuerzo admisible del concreto a tracción durante la transferencia - Etapa 1
$\mu$	0,20		Coeficiente de fricción.
$k$	0,00066	1/m	Coeficiente de curvatura involuntaria.

**Fuente.** Los Autores

En la tabla 48, se encuentran las abscisas medidas desde el centro de la luz, junto con las cargas, excentricidad, momento flector debido al peso propio de la viga y la verificación para compresión y tracción.

**Tabla 48.** Verificación de esfuerzos Etapa I.

	Abscisas medidas desde el centro de la luz										
X (m)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
A (m <sup>2</sup> )	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355
S <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
S <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
$\mu a_1$	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003
$\mu a_2$	0,000	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006	0,006	0,007
kx	0,000	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005	0,005	0,006	0,007
P <sub>1</sub> (KN)	671,1	671,8	672,4	673,1	673,7	674,4	675,0	675,7	676,3	677,0	677,6
P <sub>2</sub> (KN)	671,1	670,2	669,3	668,4	667,5	666,6	665,7	664,8	663,9	663,0	662,1
e <sub>1</sub> (m)	0,39	0,38	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,31	0,29	0,26	0,24
e <sub>2</sub> (m)	0,39	0,38	0,37	0,35	0,33	0,30	0,26	0,21	0,16	0,10	0,04
$\Sigma Pe$ (m)	518,5	515,0	504,9	488,0	464,5	434,4	397,5	354,1	304,0	247,4	184,1
$\Sigma P$ (KN)	1342,3	1342,0	1341,8	1341,5	1341,2	1341,0	1340,7	1340,5	1340,2	1340,0	1339,7
M <sub>DC</sub> (KN.m)	430,0	425,7	412,9	391,6	361,8	323,5	270,9	230,1	160,0	107,5	0,0
$\sigma_{inf}$ (MPa)	-4,8	-4,8	-4,8	-4,9	-4,9	-5,0	-5,2	-5,2	-5,4	-5,3	-5,8
$\sigma_{sup}$ (MPa)	-2,7	-2,7	-2,7	-2,7	-2,6	-2,5	-2,3	-2,3	-2,1	-2,1	-1,6
$\sigma_{admc}$ (MPa)	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1
$\sigma_{admt}$ (MPa)	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Cumple c	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Cumple t	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

**Fuente.** Los Autores

Para el cálculo del momento flector se hizo uso de la siguiente ecuación

$$M_{DC} = 39,52x - 0,95x^2 - 5,32(x - 1,75)$$

### **Verificación de esfuerzos para la Etapa II – Etapa I + peso de la losa**

A continuación, se realizan los cálculos correspondientes a los esfuerzos admisibles del concreto tanto a compresión como a tracción durante la transferencia de la etapa No 2 que es aquella que corresponde a la etapa 1 más el peso de la losa.

- Esfuerzo admisible del concreto a compresión

$$\sigma_{admisible} = 0,6 * f'_{civ} \quad \sigma_{admisible} = 0,6 * 38,5 \text{ Mpa} = 23,1 \text{ Mpa}$$

- Esfuerzo admisible del concreto a tracción

$$\sigma_{admisible} = 0,5 * \sqrt{f'_{civ}} \quad \sigma_{admisible} = 0,5 * \sqrt{38,5 \text{ Mpa}} = 3,1 \text{ Mpa}$$

Se utiliza un coeficiente de fricción  $\mu=0,25$  y coeficiente de curvatura involuntaria  $k=0,00066$ , de acuerdo tabla 5.9.5.2.2b-1 del CCP-14, adicionalmente se tiene en cuenta las pérdidas del acero de presfuerzo, los valores hallados anteriormente se consignan en la siguiente tabla 49.

**Tabla 49.** Esfuerzos y coeficientes Etapa II.

$\sigma_{admc}$	23,1	MPa	<i>Esfuerzo admisible del concreto a compresión durante la transferencia - Etapa 2</i>
$\sigma_{admt}$	3,1	MPa	<i>Esfuerzo admisible del concreto a tracción durante la transferencia - Etapa 2</i>
$\mu$	0,25		<i>Coeficiente de fricción.</i>
$k$	0,00066	1/m	<i>Coeficiente de curvatura involuntaria.</i>
	10,96	%	<i>Pérdidas del acero de presfuerzo</i>

**Fuente.** Los Autores

En la siguiente tabla 50, se encuentran las abscisas medidas desde el centro de la luz, junto con las cargas, excentricidad, momento flector debido al peso propio de la viga y la losa, y la verificación para compresión y tracción.



**Tabla 50.** Verificación de esfuerzos Etapa II.

X (m)	Abscisas medidas desde el centro de la luz										
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
A (m <sup>2</sup> )	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355	0,355
S <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086	0,086
S <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090	0,090
μa <sub>1</sub>	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004
μa <sub>2</sub>	0,000	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006	0,006	0,007
kx	0,000	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005	0,005	0,006	0,007
P <sub>1</sub> (KN)	671,1	671,8	672,5	673,2	673,9	674,6	675,3	676,0	676,7	677,4	678,1
P <sub>2</sub> (KN)	671,1	670,2	669,3	668,4	667,5	666,6	665,7	664,8	663,9	663,0	662,1
e <sub>1</sub> (m)	0,39	0,38	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,31	0,29	0,26	0,24
e <sub>2</sub> (m)	0,39	0,38	0,37	0,35	0,33	0,30	0,26	0,21	0,16	0,10	0,04
ΣPe (m)	518,5	515,0	504,9	488,1	464,6	434,4	397,6	354,2	304,2	247,5	184,2
ΣP (KN)	1342,3	1342,1	1341,9	1341,6	1341,4	1341,2	1341,0	1340,8	1340,6	1340,4	1340,2
M <sub>DC</sub> (KN.m)	970,0	960,3	931,3	883,0	815,4	728,5	609,3	516,7	357,9	238,8	0,0
σ <sub>inf</sub> (MPa)	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>1,0</b>	<b>0,6</b>	<b>0,1</b>	<b>-0,5</b>	<b>-1,4</b>	<b>-2,0</b>	<b>-3,2</b>	<b>-3,9</b>	<b>-5,8</b>
σ <sub>sup</sub> (MPa)	<b>-9,1</b>	<b>-9,0</b>	<b>-8,8</b>	<b>-8,4</b>	<b>-7,9</b>	<b>-7,2</b>	<b>-6,3</b>	<b>-5,7</b>	<b>-4,4</b>	<b>-3,7</b>	<b>-1,6</b>
σ <sub>adm c</sub> (MPa)	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1	-23,1
σ <sub>adm t</sub> (MPa)	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
Cumple c	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>
Cumple t	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>

**Fuente.** Los Autores

### Verificación de esfuerzos para la Etapa III – Etapa II + carga viva

A continuación, se realizan los cálculos correspondientes a los esfuerzos admisibles del concreto tanto a compresión como a tracción durante la transferencia de la etapa III que es aquella que integra la totalidad de la superestructura más la carga viva peatonal.


- Esfuerzo admisible del concreto a compresión

$$\sigma_{admisible} = 0,6 * f'_{cv} \quad \sigma_{admisible} = 0,6 * 42 \text{ Mpa} = 25,2 \text{ Mpa}$$

- Esfuerzo admisible del concreto a tracción

$$\sigma_{admisible} = 0,5 * \sqrt{f'_{cv}} \quad \sigma_{admisible} = 0,5 * \sqrt{42 \text{ Mpa}} = 3,2 \text{ Mpa}$$

Se utiliza un coeficiente de fricción μ=0,25 y coeficiente de curvatura involuntaria k=0,00066, de acuerdo con la tabla 5.9.5.2.2b-1 del CCP-14, los valores hallados anteriormente se consignan en la siguiente tabla.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------

**Tabla 51.** Esfuerzos y coeficientes Etapa III.

$\sigma_{admc}$	25,2	MPa	Esfuerzo admisible del concreto a compresión durante la transferencia - Etapa 3
$\sigma_{admt}$	3,2	MPa	Esfuerzo admisible del concreto a tracción durante la transferencia - Etapa 3
$\mu$	0,25		Coefficiente de fricción.
$k$	0,00066	1/m	Coefficiente de curvatura involuntaria.

**Fuente.** Los Autores

En la siguiente tabla, se encuentran las abscisas medidas desde el centro de la luz, junto con las cargas, excentricidad, momento flector debido al peso propio de la viga y la losa, y la verificación para compresión y tracción.

**Tabla 52.** Verificación de esfuerzos Etapa III.

	Abscisas medidas desde el centro de la luz										
X (m)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
A (m <sup>2</sup> )	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714	0,714
S <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> )	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298	0,298
S <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147	0,147
$\mu a_1$	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004
$\mu a_2$	0,000	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005	0,006	0,006	0,007
$\mu a_3$	0,000	0,001	0,003	0,004	0,005	0,007	0,008	0,010	0,011	0,012	0,014
$\mu a_4$	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
kx	0,000	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,005	0,005	0,006	0,007
P <sub>1</sub> (KN)	671,1	671,8	672,5	673,2	673,9	674,6	675,3	676,0	676,7	677,4	678,1
P <sub>2</sub> (KN)	671,1	670,2	669,3	668,4	667,5	666,6	665,7	664,8	663,9	663,0	662,1
P <sub>3</sub> (KN)	596,6	597,8	599,0	600,2	601,4	602,7	603,9	605,1	606,3	607,6	608,8
P <sub>4</sub> (KN)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
e <sub>1</sub> (m)	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,68	0,67	0,65	0,62	0,60	0,57
e <sub>2</sub> (m)	0,72	0,72	0,71	0,69	0,66	0,63	0,59	0,55	0,50	0,44	0,37
e <sub>3</sub> (m)	0,72	0,71	0,70	0,67	0,63	0,58	0,52	0,45	0,37	0,27	
e <sub>4</sub> (m)	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87		
$\Sigma Pe$ (m)	1396,2	1390,3	1371,1	1338,5	1292,6	1233,3	1160,6	1074,5	974,9	861,8	631,7
$\Sigma P$ (KN)	1938,9	1939,9	1940,9	1941,9	1942,9	1943,9	1944,9	1945,9	1947,0	1948,0	1949,0
M <sub>DC</sub> (KN.m)	970,0	960,3	931,3	883,0	815,4	728,5	609,3	516,7	357,9	238,8	0,0
$\sigma_{inf}$ (MPa)	-5,6	-5,6	-5,7	-5,8	-6,0	-6,2	-6,5	-6,5	-6,9	-7,0	-7,0
$\sigma_{sup}$ (MPa)	-1,3	-1,3	-1,2	-1,2	-1,1	-1,0	-0,9	-0,9	-0,7	-0,6	-0,6
$\sigma_{admc}$ (MPa)	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2	-25,2
$\sigma_{admt}$ (MPa)	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2
Cumple c	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Cumple t	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

**Fuente.** Los Autores



#### 4.2.2.7 Pérdidas de fuerza de presfuerzo

A continuación, se presentan las ecuaciones para determinar la longitud y el alargamiento de cada uno de los cables

- Determinación de EA

$$EA = \# \text{torones por cable} * A_t * 20000$$

$$EA_{\text{cable } 1-2} = 9 * 0,548 * 20000 = 98640 \text{ kN}$$

$$EA_{\text{cable } 1-2} = 8 * 0,548 * 20000 = 87680 \text{ kN}$$

- Cálculo de fuerza de cada cable (P)

$$Fuerza_{\text{cable}} = (A_{\text{cable}} * \% \text{tens} * F_{py}) / 10$$

$$Fuerza_{\text{cable } 1-2} = \frac{4,9 * 80\% * 1701}{10} = 671,1 \text{ kN}$$

$$Fuerza_{\text{cable } 3} = \frac{4,4 * 80\% * 1701}{10} = 596,6 \text{ kN}$$

- Determinación de alargamiento del cable ( $\Delta L$ )

$$\Delta L = L_{\text{cada cable}} * EA * P$$

Los valores hallados anteriormente se consignan en la siguiente tabla

**Tabla 53.** Longitud y alargamiento de los cables de presfuerzo.

Cable	L (m)	EA(KN)	P (KN)	$\Delta L$ (m)	
1	20,00	98640	671,1	0,136	Longitud (L) y alargamiento ( $\Delta L$ ) del cable 1
2	20,02	98640	671,1	0,136	Longitud (L) y alargamiento ( $\Delta L$ ) del cable 2
3	20,04	87680	596,6	0,136	Longitud (L) y alargamiento ( $\Delta L$ ) del cable 3

**Fuente.** Los Autores

#### Cálculo de las pérdidas por fricción, curvatura y penetración de cuña

Es importante conocer el efecto de penetración de cuña, ya que esta produce una fuerza de rozamiento, para ello se emplearon las siguientes ecuaciones.



- Cálculo de distancia desde el anclaje móvil hasta el punto en el que la fuerza de rozamiento por penetración en cuña es cero.

$$W = \sqrt{\frac{\Delta L_c * E_{PS} * A_t}{\Delta p}}$$

- Cálculo de pérdida de fuerza por unidad de longitud

$$\Delta p = \frac{P_o - P_L}{L}$$

- Penetración de la cuña  $\Delta L_c = 5mm$  para este caso
- Cálculo de pérdida de la fuerza de presfuerzo entre dos secciones de la viga

$$\Delta P = 2 * \Delta p * W$$

En la siguiente tabla se encuentran los datos para cada cable con las respectivas abscisas medidas desde el centro de la luz.

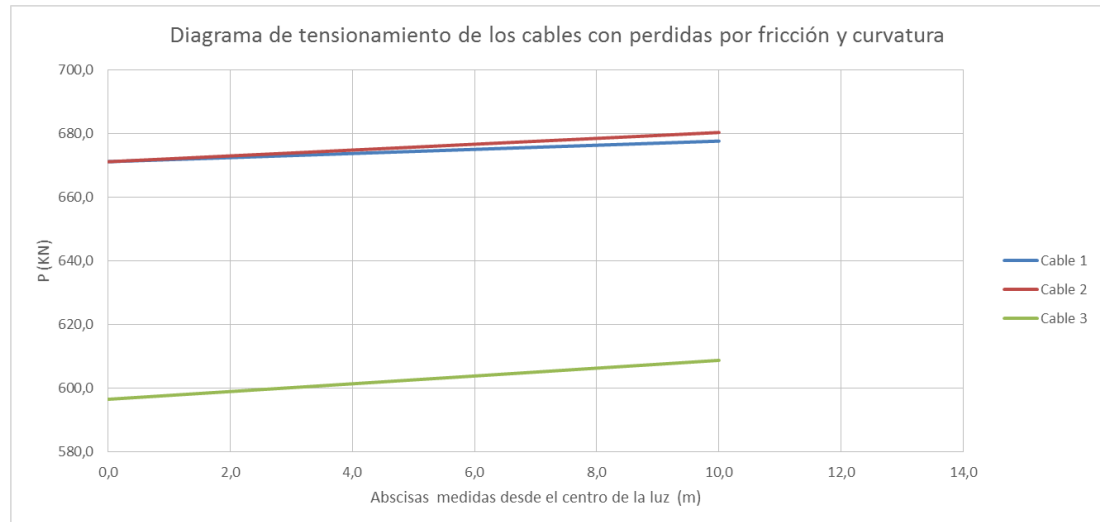
**Tabla 54.** Pérdidas por fricción, curvatura y penetración de cuña.

Cable	P <sub>anc</sub> (KN)	Δp (KN)	ΔL <sub>c</sub> (mm)	W (m)	ΔP (KN)	Abscisas medidas desde el centro de la luz (m)							
						4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	
1	677,6	0,64974	5	27,551	35,8	645,7	645,1	644,4	643,8	643,1	642,5	641,8	
2	680,3	0,92211	5	23,127	42,7	643,2	642,3	641,4	640,4	639,5	638,6	637,7	
3	608,8	1,2303	5	18,877	46,4	569,7	568,5	567,3	566,0	564,8	563,6	562,4	

**Fuente.** Los Autores

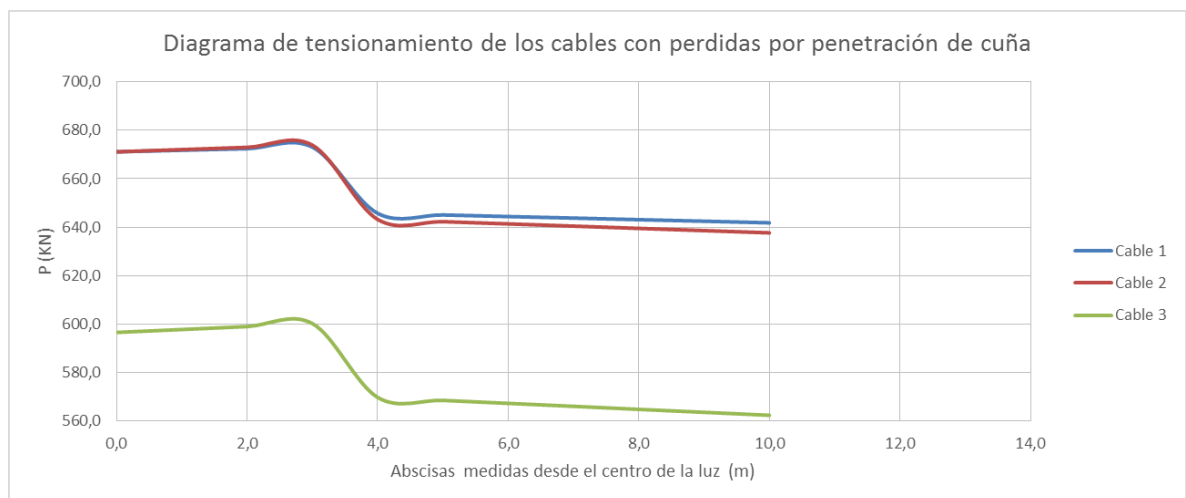
A continuación, se presentan los diagramas de tensionamiento de los cables con pérdidas de fricción y curvatura y con pérdidas por penetración de cuña para cada uno de los cables.

**Figura 35.** Diagrama de tensionamiento de los cables con pérdidas por fricción y curvatura.



**Fuente.** Los Autores

**Figura 36.** Diagrama de tensionamiento de los cables con pérdidas por penetración de cuña.



**Fuente.** Los Autores



### Cálculo de las pérdidas de presfuerzo para el primer tensionamiento

Para el cálculo de la retracción, se tiene en cuenta el valor de la humedad relativa que en la ciudad de Bogotá de acuerdo con el IDEAM es de 80%.

#### - Retracción

$$\text{Humedad relativa } SH = 0.08 * (1190 - (10.5 * 80)) = 28MPa$$

$$\text{Pérdida por retracción } \Delta P = 28 * \frac{(9+9)*0.548}{2} = 13.8MPa$$

#### - Acortamiento elástico

$$\text{Modulo del acero } E_s = 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulo del concreto } E_{ci} = 0.014 * 2200^{1.5} * \sqrt{38.5 * 10} = 28346MPa$$

$$\text{Esfuerzo en centro de gravedad } E_{ci} = \frac{67110}{3550} - \frac{67110*39^2}{4800000} + \frac{430000*39}{4800000}$$

$$E_{ci} = -3.62MPa$$

$$\text{Acortamiento elástico } ES = 0.05 * \frac{-200000*-3.62}{28346} = 1.3MPa$$

$$\text{Pérdida por acortamiento } \Delta P = \frac{1.3*(9+9)*0.548}{2} = 6.3kN$$

#### - Retracción

$$\text{Pérdidas por flujo plástico } C_{rc} = -12 * -3.62 * 10 * 0.1 = 43.5MPa$$

$$\text{Pérdidas por flujo plástico } \Delta P = \frac{43.5*(9+9)*0.548}{2} = 21.4kN$$

## - Relajación

Relajación

$$C_{rc} = (350 - (0.1 * 1.3) - (0.05 * (28 + 43.5) - (0.07 * 0)) * 0.1$$

$$C_{rc} = 34.6 MPa$$

$$\text{Pérdidas por relajación } \Delta P = \frac{34.6 * \frac{(9+9)*0.548}{10}}{2} = 17.1 kN$$

A continuación, se presenta la tabla resumen de las pérdidas en el centro de la luz.

**Tabla 55.** Pérdidas por fricción, curvatura y penetración de cuña.

Resumen de pérdidas en el centro de la luz		
Item	Valor (KN)	Porcentaje (%)
Fuerza en el gato	671,1	100,0%
Fricción y curvatura	3,2	0,5%
Retracción	13,8	2,1%
Acortamiento elástico	6,3	0,9%
Flujo plástico	21,4	3,2%
Relajación del acero	17,1	2,5%
Recuperación elástica	10,1	1,5%
<b>Pérdida total</b>	<b>51,8</b>	<b>7,7%</b>

**Fuente.** Los Autores

### 4.2.2.8 Refuerzo mínimo

#### Verificación de acero mínimo

Se debe realizar la verificación de refuerzo mínimo, para esto se emplearon las siguientes ecuaciones

- Cálculo de Fr



$$F_r = 0,62 * \sqrt{f'_{cv}} \quad F_r = 0,62 * \sqrt{42 \text{ Mpa}} = 4,018 \text{ Mpa}$$

- Cálculo de esfuerzo de compresión en el concreto debido solo a fuerzas efectivas de presfuerzo

$$f_{cpe} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{e} + \frac{\sum P * 0,15}{I_{seccion \ simple}}$$

- Cálculo de momento de fisuración

$$M_{CR} = \gamma_3 * \left( (\gamma_1 * F_r + \gamma_2 * f_{cpe}) * \gamma_1 S_c - M_{dnc} * \left( \frac{S_c}{S_{nc}} - 1 \right) \right)$$

$$M_{CR} = 1 * \left( (1,6 * 4018,059 + 1,1 * 23297,22) * 1,6 * 0,147 - 1830,3 * \left( \frac{0,147}{0,090} - 1 \right) \right)$$

$$M_{CR} = 6385,86 \text{ kN} * m$$

- Cálculo de momento resistente

$$Mn = \frac{0,9 * As * fps * (dp * 100) - \left( \frac{a}{2} \right)}{10000}$$

$$Mn = \frac{0,9 * 14,2 * 18707 * (0,99 * 100) - \left( \frac{3,733}{2} \right)}{10000} = 2324,1 \text{ kN} * m \text{ para abscisa } 0,0$$

La sección no cumple requisitos de refuerzo ya que  $Mn < M_{CR}$ , es por este motivo que se procede a realizar el análisis y cálculo de refuerzo mínimo requerido para la sección, arrojando una cantidad de 3 varillas de 1" como acero de refuerzo mínimo.



**Tabla 56.** Refuerzo mínimo.

$f_r$	4,01806	MPa	Módulo de rotura del concreto de acuerdo con el CCP-14
$f_{cpe}$	13,1	MPa	Esfuerzo de compresión en el concreto debido sólo a fuerzas efectivas de preesfuerzo
$M_{dcn}$	970,0	KN.m	Momento total no mayorado de carga muerta
$S_c$	0,147	m <sup>3</sup>	Modulo de sección para la fibra extrema de la sección compuesta
$S_{nc}$	0,090	m <sup>3</sup>	Modulo de sección para la fibra extrema de la sección no compuesta
$\gamma_1$	1,6		Factor de variación de la fisuración por flexión
$\gamma_2$	1,1		Factor de variación del preesfuerzo
$\gamma_3$	1,0		Relación entre la resistencia del refuerzo
$M_{cr}$	4278,79	KN.m	Momento de fisuración
$\Phi M_n$	2324,1	KN.m	Momento nominal resistente de la sección
La sección no cumple requisitos de refuerzo mínimo			
Cuantía mínima requerida para la sección es de 3 varillas de 1"			

**Fuente.** Los Autores

### Verificación de la resistencia última a flexión

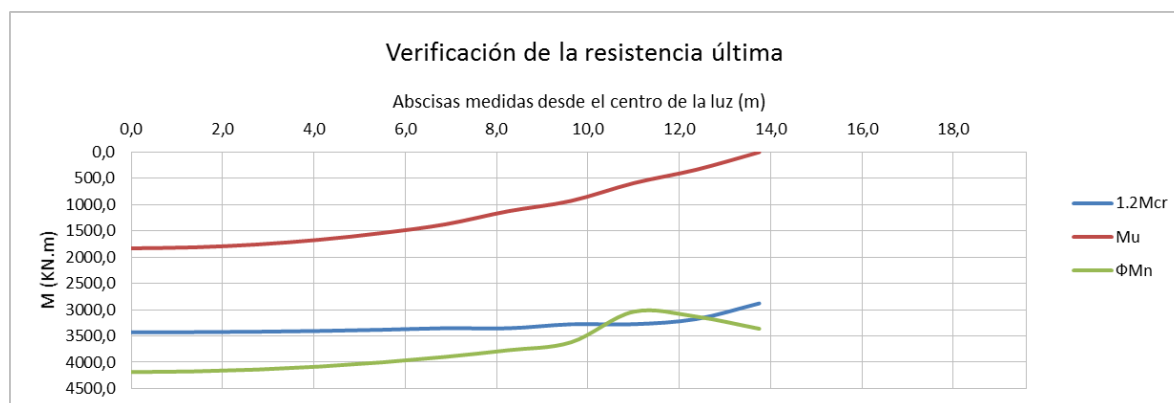
En la tabla 57, se verifica que el momento resistente es mayor al momento último.

**Tabla 57.** Momentos de fisuración, resistente y último.

	Abscisas medidas desde el centro de la luz										
X (m)	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
1.2Mcr	2274,7	2273,7	2267,9	2257,5	2242,3	2222,3	2207,4	2152,8	2129,0	2055,4	1938,8
Mu	970,0	960,3	931,3	883,0	815,4	728,5	609,3	516,7	357,9	238,8	0,0
$\Phi M_n$	2324,1	2317,8	2298,9	2267,4	2223,4	2166,7	2097,4	2015,5	1696,8	1748,4	1874,3

**Fuente.** Los Autores

**Tabla 58.** Diagrama de verificación de la resistencia última.



**Fuente.** Los Autores

### Refuerzo de retracción y temperatura

A continuación, se realiza el cálculo del refuerzo de retracción y temperatura, tomando varilla de ½" de diámetro, obteniendo como resultado una separación entre varillas de 0,30 m, estos valores se consignan en la siguiente tabla.

**Tabla 59.** Refuerzo de retracción y temperatura.

<b>As</b>	3,6	cm <sup>2</sup> /m	<i>As Retracción y Temperatura</i>
<b>Φ Varilla</b>	1/2	inch	<i>Diámetro de la varilla en pulgadas</i>
<b>Área</b>	1,29	cm <sup>2</sup>	<i>Área de la varilla en cm<sup>2</sup></i>
<b>S</b>	0,30	m	<i>Separación entre varillas</i>

**Fuente.** Los Autores

#### 4.2.2.9 Diseño a cortante

En la tabla 60, se presenta los datos obtenidos del diseño a cortante de la viga, donde se determina la separación de los estribos.

**Tabla 60.** Diseño a cortante.

	Abscisas medidas desde el centro de la luz										
<b>X (m)</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>2,0</b>	<b>3,0</b>	<b>4,0</b>	<b>5,0</b>	<b>6,0</b>	<b>7,0</b>	<b>8,0</b>	<b>9,0</b>	<b>9,6</b>
<b>V<sub>d</sub> (KN)</b>	0,0	20,7	41,3	62,0	82,7	103,3	124,0	144,7	165,3	186,0	197,6
<b>V<sub>i</sub> (KN)</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>M<sub>cre</sub> (KN.m)</b>	1809,4	1809,4	1807,0	1802,4	1795,5	1786,3	1784,0	1746,4	1740,1	1688,9	1615,7
<b>V<sub>ci</sub> (KN)</b>	1,1	21,8	42,5	63,1	83,8	104,5	125,1	145,8	166,5	187,1	198,7
<b>V<sub>cw</sub> (KN)</b>	143,5	150,2	156,9	163,7	170,4	177,2	183,9	190,7	197,4	204,2	210,9
<b>V<sub>c</sub> (KN)</b>	1,14	21,81	42,47	63,14	83,81	104,47	125,14	145,80	166,47	187,14	198,71
<b>V<sub>u</sub> (KN)</b>	0,0	30,3	60,5	90,8	121,1	151,3	184,9	207,3	240,9	263,3	286,8
<b>V<sub>s</sub> (KN)</b>	0,0	13,8	28,7	43,7	58,6	73,6	92,4	98,1	117,0	122,7	138,7
<b>S (m)</b>	NR	6,80	3,27	2,15	1,60	1,28	1,02	0,96	0,80	0,77	0,68

**Fuente.** Los Autores

Donde se determina una separación máxima de 0.30m para estribos de ½".



## 5 DISEÑO DE LOS ACCESORIOS

### 5.1 NEOPRENO

Para el diseño del neopreno se dan los siguientes valores.

- *Módulo de corte = 11*
- *Deflexión por creep = 0.35*

#### 5.1.1 Diseño del apoyo

- Cálculo del área en planta  
*Esfuerzo límite = 87.9 Kg/cm<sup>2</sup>*  
*Esfuerzo límite = 88 MPa = 8800 KPa*  
*Carga Muerta DC = 311.3 kN*  
*Carga viva PL = 99 kN*

$$Pr = 311.3 + 99 = 410.3 \text{ kN}$$

$$\text{Área requerida} = \frac{Pr}{\sigma_s}$$

$$\text{Área requerida} = \frac{410.3}{8800} = 0.047 \text{ m}^2$$

- Dimensiones  
*Ancho viga en base = 0.5 m*  
*Ancho = 0.45 m*

$$\text{Longitud} = \frac{0.047}{0.45} = 0.104 \text{ m}$$

*Se asume una longitud de 0.15m.*

$$\text{Área del neopreno} = 0.45 * 0.15 = 0.068 \text{ m}^2$$



### 5.1.2 Cálculo del acortamiento de la viga

*Luz de la viga = 27.5 m*

$$\Delta_s = 1.2 * 0.1\% * L$$

$$\Delta_s = 1.2 * 0.001 * 27.5 = 0.033m$$

- Espesor requerido del elastómero

$$h_{rt} = 2 * \Delta_s$$

$$h_{rt} = 2 * 0.033 = 0.66m$$

- Factor de forma

Se tiene

$$G = 1.12 MPa = 1120 KPa$$

*Dureza = 60 m*

$$\sigma_s = \frac{410.3}{0.068} = 6079 KPa$$

$$\sigma_s \leq 1.25 * G * sl$$

$$sl = \frac{\sigma_s}{1.25 * G}$$

$$sl = \frac{6079}{1.25 * 1120} = 4.34$$

- Grosor de una capa de elastómero

$$h_n = \frac{0.15 * 0.45}{4.34 * (0.15 + 0.45)} * 1000 = 25.9m$$

$$h_n = 0.026 * 1000 = 25.9 mm$$

*Se asume un  $h_n$  de 0.025m.*

- Grosor capas exteriores

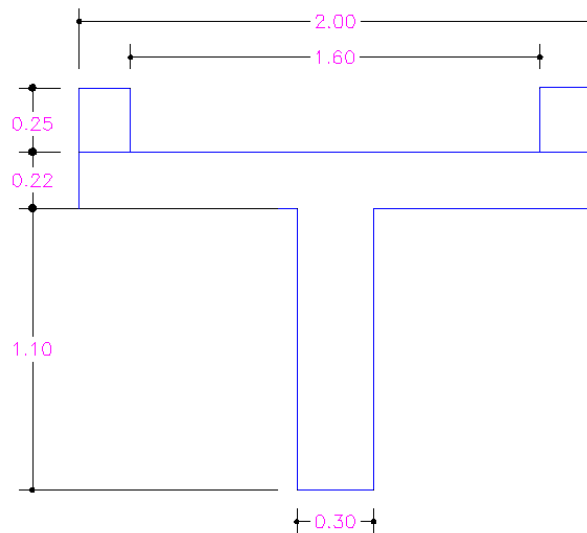
$$h_{ne} = 0.70 * h_n$$

$$h_{ne} = 0.70 * 0.0025 = 0.0175 \text{ m}$$

## 5.2 RAMPAS

Para el diseño de la rampa se toma la más crítica, que corresponde a la rampa de 15 metros.

**Figura 37.** Geometría de la rampa.



**Fuente.** Los Autores



### 5.2.1 Predimensionamiento

#### - Materiales

$$f'c = 28 \text{ MPa}$$

$$fy = 420 \text{ MPa}$$

#### - Geometría

$$h \geq 0.050 * L$$

$$h = 0.050 * 15$$

$$h = 0.75 \text{ m}$$

Se asume una altura de la viga de,  $h = 1.1 \text{ m}$

### 5.2.2 Análisis Estructural

#### 5.2.2.1 Carga Muerta DC

$$\text{Peso propio} = [(2.0\text{m} * 0.22\text{m}) + (1.10\text{m} * 0.30\text{m})] * 24 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} = 18.48 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

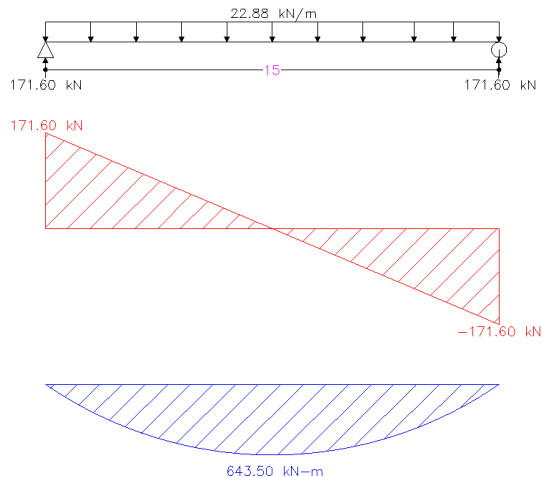
$$\text{Bordillos} = 0.20\text{m} * 0.25\text{m} * 2\text{und} * 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 2.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Barandas} = 2.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Carga Muerta DC} = 22.88 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



**Figura 38.** Diagrama de momentos y cortante carga muerta.

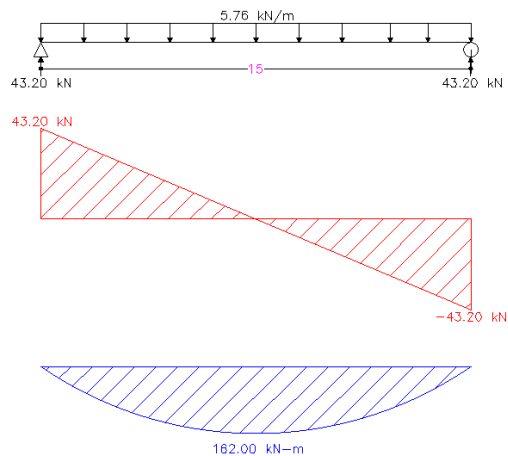


**Fuente.** Los Autores

### 5.2.2.2 Carga viva

$$PL = 3.6 \frac{kN}{m^2} * 1.6 m = 5.76 \frac{kN}{m}$$

**Figura 39.** Diagrama de momentos y cortante carga viva.



**Fuente.** Los Autores

### 5.2.2.3 Tabla resumen

	DC	PL
V (kN)	171.60	43.20
Mu <sup>(-)</sup> (kN-m)	643.50	162.00

### 5.2.2.4 Combinación de cargas

- Resistencia I = 1.25 DC + 1.75 PL

$$V_u = 1.25(171.60) + 1.75(43.20) = 290.10 \text{ kN}$$

$$M_u = 1.25(643.50) + 1.75(162.00) = 1087.88 \text{ kN} - m$$

- Servicio I = 1.0 DC + 1.0 PL

$$V_s = 1.0(171.60) + 1.0(43.20) = 214.80 \text{ kN}$$

$$M_s^{(-)} = 1.0(643.50) + 1.0(162.00) = 805.50 \text{ kN} - m$$

## 5.2.3 Diseño Estructural

### 5.2.3.1 Diseño a flexión

Utilizando un diámetro de varilla inicial # 5, se obtiene la distancia efectiva  $d$

$$d = 1.32 - 0.05 - \frac{0.0159}{2} = 1.262 \text{ m}$$

A partir de la obtención de la distancia efectiva, se procede a obtener la cuantía





$$\rho = \frac{0.85 * 28000}{420000} * \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.61 * 1087.88}{28000 * 0.3 * (1.262^2)}} \right] = 0.00637$$

$$0.00637 > 0.0033 \rightarrow \text{Cumple}$$

$$A_s = 0.00637 * 0.3 * 1.262 = 2.41 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\# \text{ varillas} = \frac{24.11}{2.84} = 8.48 \text{ varillas} \approx \mathbf{9 \text{ varillas} \# 6}$$

- **Verificación de momento resistente  $\phi M_n$**

$$d = 1.32 - 0.05 - \frac{0.0191}{2} = 1.257 \text{ m}$$

$$a = \frac{\left(\frac{9 * 2.84}{10000}\right) * 420000}{0.85 * 28000 * 0.30} = 0.15 \text{ m}$$

$$\phi M_n = 0.9 * \left(\frac{9 * 2.84}{10000}\right) * 420000 * \left(1.257 - \frac{0.150}{2}\right) = 1142.01 \text{ kN} - \text{m}$$

$$1142.01 \text{ kN} - \text{m} > 1087.88 \text{ kN} - \text{m}$$

$$\phi M_n > M_u \rightarrow \text{Cumple}$$

### 5.2.3.2 Diseño a cortante

Se continua con el diseño a cortante y verificación del mismo, donde primero se elige el mayor de  $d_v$  y después se realiza la respectiva verificación.

$$d_v = 0.9 * 1.257 = 1.131 \text{ m}$$



$$dv = 0.72 * 1.32 = 0.95 \text{ m}$$

$$\phi V_c = 0.9 * 0.166 * \sqrt{28} * 0.3 * 1.131 * 1000 = 268.233 \text{ kN}$$

$$268.233 \text{ kN} < 290.10 \text{ kN}$$

$$\phi V_c > V_u \rightarrow \text{No Cumple}$$

Debido a que no cumple es necesario suministrar flejes.

$$\phi V_n > V_u$$

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s$$

$$\phi V_s = V_u - \phi V_c$$

$$\phi V_s = 290.10 - 268.233 = 21.867 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{S} = \frac{\phi V_s}{\phi f_y d v}$$

$$\frac{A_v}{S} = \frac{21.867}{0.90 * 420000 * 1.131} = 5.114 \times 10^{-5}$$

$$S = \frac{\frac{3 * 0.71}{10000}}{5.114 \times 10^{-5}} = 4.17 \text{ m}$$

Se adopta una separación máxima de 0.30m, por lo tanto, se suministra **FL # 3 C/.30 m en 3** ramas.



- **Verificación de cortante resistente  $\phi V_n$**

$$\phi V_s = \phi * \frac{A_v * f_y * d_v}{S}$$

$$\phi V_s = 0.9 * \frac{\left(\frac{3 * 0.71}{10000}\right) * 420000 * 1.131}{0.30} = 303.538 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = \phi V_c + \phi V_s$$

$$\phi V_n = 268.233 + 303.538 = 571.771 \text{ kN}$$

$$571.771 \text{ kN} > 290.10 \text{ kN}$$

$$\phi V_n > V_u \rightarrow \text{Cumple}$$

**5.2.3.3 Refuerzo de aletas**

- Refuerzo Transversal

$$d = 5 + \frac{0.95}{2} = 5.48 \text{ cm}$$

$$A_s = 0.0033 * 1 * 0.0548 = 1.914 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\# \text{ varillas} = \frac{1.914}{0.71} = 2.69 \approx \mathbf{3 \text{ varillas \# 3}}$$

- Refuerzo Longitudinal

$$A_s = 0.0018 * 2 * 0.22 = 7.92 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\# \text{ varillas} = \frac{7.92}{1.99} = 3.98 \approx \mathbf{4 \text{ varillas \# 5}}$$



### 5.3 ESCALERAS

En el capítulo 2, se desarrolló el predimensionamiento de los escalones donde la huella es de 24 cm y la contrahuella de 18 cm, obteniéndose un total de 33, debido a que por normatividad se debe colocar un descanso cada 18 escalones para un tramo recto, se decide colocar un descanso a los 16 escalones.

El descanso de la escalera en profundidad debe coincidir con el ancho de la misma, por lo tanto, el ancho tiene las siguientes dimensiones 2 x 2 metros.

#### 5.3.1 *Predimensionamiento*

- Materiales

$$f'c = 28 \text{ MPa}$$

$$fy = 420 \text{ MPa}$$

- Espesor de la losa maciza inferior

$$t = \frac{S + 3000}{20}$$

$$t = \frac{4590 + 3000}{30} = 253 \text{ mm}$$

Se toma un espesor de 0.25m para la losa maciza inferior.

- Para la pendiente se tiene

$$\tan^{-1}(\alpha) = \frac{0.18}{0.24} \cong 36.87^\circ$$



### 5.3.2 *Análisis Estructural*

Con las dimensiones obtenidas y la pendiente se procede a determinar el peso de las cargas.

$$\text{Peso propio losa} = \frac{0.25 * 1 * 1 * 24}{\cos(36.87^\circ)} = 7.5 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Peso de los peldaños} = \frac{0.18 * \frac{0.24}{2} * 1 * 24}{0.24} = 2.16 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Acabado de los peldaños en concreto} = \frac{0.04 * (0.18 + 0.24) * 1 * 24}{0.24} = 1.68 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Afinado inferior en pañete} = \frac{0.02 * 1 * 1 * 22}{\cos(36.87^\circ)} = 0.55 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Subtotal carga muerta} = 11.89 \frac{kN}{m^2}$$

- Para el descanso se obtiene la siguiente carga:

$$\text{Peso propio losa} = 0.25 * 1 * 1 * 24 = 6 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Acabado superior en concreto} = 0.04 * 1 * 1 * 24 = 0.96 \frac{kN}{m^2}$$



$$\text{Afinado inferior en pañete} = 0.02 * 1 * 1 * 22 = 0.44 \frac{kN}{m^2}$$

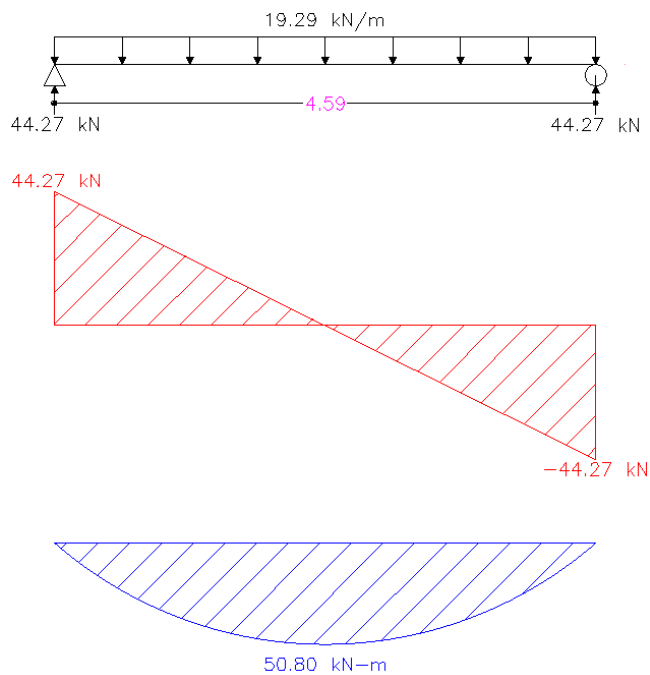
$$\text{Subtotal de carga muerta} = 7.4 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Total de carga muerta} = 19.29 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Total de carga viva} = 7.2 \frac{kN}{m^2}$$

#### - Diagrama de cargas

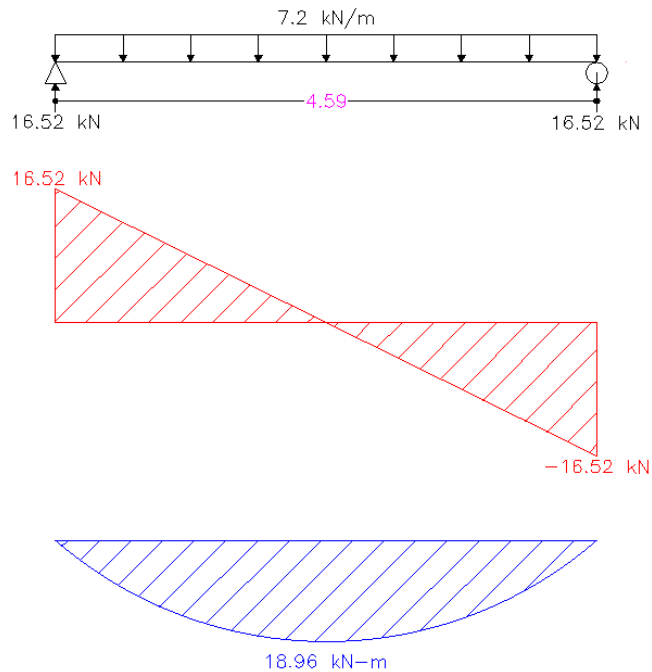
**Figura 40.** Diagrama de carga muerta.



**Fuente.** Los Autores



**Figura 41.** Diagrama de carga viva.



**Fuente.** Los Autores

$$Resistencia\ I = 1.25 * DC + 1.75 * PL$$

$$M_u = 1.25 * 50.80 + 1.75 * 18.96 = 96.68\ kN - m$$

$$V_u = 1.25 * 44.27 + 1.75 * 16.52 = 84.25\ kN$$

### 5.3.3 Diseño Estructural

Utilizando un diámetro de varilla inicial # 6, se obtiene la distancia efectiva  $d$



$$d = 0.25 - 0.05 - \frac{0.0191}{2} = 0.19 \text{ m}$$

A partir de la obtención de la distancia efectiva, se procede a obtener la cuantía

$$\rho = \frac{0.85 * 28000}{420000} * \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.61 * 96.68}{28000 * 1 * (0.19^2)}} \right] = 0.00758$$

$$0.00758 > 0.0033 \rightarrow \text{Cumple}$$

$$A_s = 0.00758 * 1 * 0.19 = 1.44 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\# \text{ varillas} = \frac{14.40}{3.87} = 3.72 \text{ varillas} \approx 4 \text{ varillas} \# 7 \text{ c/.25}$$

- Verificación de  $\phi M_n$

$$d_{real} = 0.25 - 0.05 - \frac{0.0222}{2} = 0.19 \text{ m}$$

$$a = \frac{\left( \frac{4 * 3.87}{10000} \right) * 420000}{0.85 * 28000 * 1} = 0.027 \text{ m}$$

$$\phi M_n = 0.9 * \left( \frac{4 * 3.87}{10000} \right) * 420000 * \left( 0.19 - \frac{0.027}{2} \right) = 103.28 \text{ kN} - \text{m}$$

$$103.28 \text{ kN} - \text{m} > 96.68 \text{ kN} - \text{m}$$

$$\phi M_n > M_u \rightarrow \text{Cumple}$$

- Verificación de acero máximo





$$c = \frac{a}{\beta} = \frac{0.027}{0.85} = 0.032m$$

$$\frac{c}{d} = \frac{0.032}{0.19} = 0.16$$

$$0.16 < 0.42$$

$$\frac{c}{d} < 0.42 \rightarrow \text{Cumple}$$

- Verificación acero mínimo

Se toma la tercera parte del refuerzo positivo debido a que los apoyos son poco restringidos.

$$As = \frac{1.548}{3} = 0.516 m^2$$

$$As = 0.0018 * 2 * 0.173 = 6.228 \times 10^{-4} m^2$$

Se usa  $As_{min} = 6.228 \times 10^{-4} m^2$

$$\# \text{ varillas} = \frac{6.23}{1.29} = 4.88 \text{ varillas} \approx 5 \text{ varillas} \# 4 \text{ c/.20}$$

- Acero de distribución


$$As_{dist} = \frac{1750}{\sqrt{S}}$$

$$As_{dist} = \frac{1750}{\sqrt{4590}} = 20.83\%$$

$$As_{dist} = 15.48 * 20.83\% = 3.22 cm^2$$

$$\# \text{ varillas} = \frac{3.22}{0.71} = 4.5 \text{ varillas} \approx 5 \text{ varillas} \# 3 \text{ c/.20}$$

- Refuerzo transversal por temperatura

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

$$A_s = 0.0018 * 1 * 0.173 = 3.114 \times 10^{-4} m^2$$

$$\# \text{ varillas} = \frac{3.11}{0.71} = 4.3 \text{ varillas} \approx 5 \text{ varillas} \# 3 \text{ c/.20}$$

- Verificación por cortante

$$dv = 0.9 * 0.19 = 0.17$$

$$dv = 0.72 * 0.25 = 0.18m$$

$$\phi V_c = 0.9 * 0.166 * \sqrt{28} * 2 * 0.18 * 1000 = 284.598 \text{ kN}$$

$$284.598 \text{ kN} > 84.25 \text{ kN}$$

$$\phi V_c > V_u \rightarrow \text{Cumple}$$

## 5.4 BARANDA

El diseño de la baranda se presenta a continuación

### 5.4.1 Diseño del poste

Para el poste se utiliza una sección de las siguientes características:

- Sección: HEB120
- $F_y = 420 \text{ MPa}$ .
- $P = 4.5 \text{ T}$

Primero se verifica que cumple el diseño transversal:

$$M = \frac{P}{2} (50 + 100) = 340500 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$S = 288 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{340500 \text{ Kg} * \text{cm}}{288 \text{ cm}^3} = 1182.3 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo admisible de la sección es:



$$\sigma_{adm} = 0.6 * Fy = 0.6 * 420 \text{ Mpa} = 2532 \text{ Kg/cm}^2$$

Por lo que se verifica que el esfuerzo resistente es mayor al que se produce, de la forma:

$$2532 \text{ Kg/cm}^2 > 1182.3 \text{ Kg/cm}^2$$

Posteriormente se verifica que cumple el diseño longitudinal:

$$M = \frac{P}{8} (50 + 100) = 85125 \text{ Kg * cm}$$

$$S = 112 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{85125 \text{ Kg * cm}}{112 \text{ cm}^3} = 760 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo resistente de la sección es:

$$\sigma_{adm} = 0.6 * Fy = 0.6 * 420 \text{ Mpa} = 2532 \text{ Kg/cm}^2$$

Por lo que se verifica que el esfuerzo resistente es mayor al que se produce, de la forma:

$$2532 \text{ Kg/cm}^2 > 760 \text{ Kg/cm}^2$$

Por último, se verifican los esfuerzos combinados:

$$\frac{1182.3 \text{ Kg/cm}^2 + 760 \text{ Kg/cm}^2}{2532 \text{ Kg/cm}^2} = 0.767 < 1$$

**Dando cumplimiento, queda comprobado el diseño del poste.**



### 5.4.2 Diseño de los tubos

Primero se diseña la sección a flexión, para una longitud de 2.00 m, por lo que se tiene:

$$M = \frac{P}{12} L = 75667 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$S = 28.44 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{75667 \text{ kg} * \text{cm}}{28.44 \text{ cm}^3} = 2660.6 \text{ Kg/cm}^2$$

El esfuerzo resistente de la sección es:

$$\sigma_{adm} = 0.66 * F_y = 0.66 * 420 \text{ Mpa} = 2772 \text{ Kg/cm}^2$$

Por lo que se verifica que el esfuerzo resistente es mayor al que se produce, de la forma:

$$2772 \text{ Kg/cm}^2 > 2660.6 \text{ Kg/cm}^2$$

**Dando cumplimiento, queda comprobado el diseño de los tubos correctamente.**

### 5.4.3 Diseño de los anclajes

Los anclajes consisten en 4 pernos de 1" de diámetro con rosca  $A_s = 3.87 \text{ cm}^2$

Primero se verifica el funcionamiento de los pernos en sentido transversal:

$$T * 8 \text{ cm} = 85125 \text{ Kg} * \text{cm}$$



$$T = 10640 \text{ Kg}$$

Después se analiza el funcionamiento de los pernos en sentido longitudinal:

$$T * 12\text{cm} = 340500 \text{ Kg} * \text{cm}$$

$$T = 28375 \text{ Kg}$$

Se analiza para los esfuerzos combinados en el apoyo, por lo que se tiene que:

$$T = 28375 \text{ Kg} + 10640 \text{ Kg} = 39015 \text{ Kg}$$

Y el esfuerzo generado por esta carga, teniendo en cuenta que se tienen 4 pernos en cada uno de los apoyos, seria:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{39015 \text{ Kg}}{4 * 3.87 \text{ cm}^2} = 2520.3 \text{ Kg/cm}^2$$


El esfuerzo resistente de la sección es:

$$\sigma_{adm} = 0.66 * Fy = 0.66 * 420 \text{ Mpa} = 2772 \text{ Kg/cm}^2$$

Por lo que se verifica que el esfuerzo resistente es mayor al que se produce, de la forma:

$$2772 \text{ Kg/cm}^2 > 2520.3 \text{ Kg/cm}^2$$

**Se indica que los pernos cumplen**

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	---	--------------------------


## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES


- ✓ Al momento de realizar modelados por medio de software se debe tener en cuenta que al insertar los datos se debe tener cautela, ya que cualquier tipo de error en algún dato puede afectar drásticamente el resultado de resistencia última y esto conlleva a un diseño estructural erróneo que puede ocasionar accidentes en tiempo de ejecución o tiempo post-ejecución.
- ✓ En el diseño estructural, el diseñador debe ceñirse a la normatividad legal vigente en este caso se tomó la norma colombiana de diseño de puentes LRFD CCP-14, ya que esto genera confianza en el diseño y disminuye las probabilidades de algún tipo de falla estructural.
- ✓ Si este proyecto se lograra materializar existiría una mejora en la disminución de accidentalidad de la zona, brindaría una seguridad mayor a todos los peatones que transitan en este cruce y mejoraría el tiempo de tráfico estimado.
- ✓ Gracias a las bases adquiridas a lo largo de la carrera en las asignaturas afines a mecánica de materiales, estructuras, suelos, se lograron determinar aquellos materiales más eficientes tanto económicos como estructurales para la ejecución del puente peatonal.

### 6.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Es necesario realizar la verificación pertinente con un profesional en geotecnia para que se pueda evaluar y aprobar la cimentación propuesta en el proyecto.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	<b>FECHA: 2020</b> <b>VERSIÓN 0</b>
---	---	--


- ✓ Para ejecución se debe cumplir con las propiedades de materiales propuesta para así evitar fallas estructurales.
  
- ✓ Se sugiere realizar un estudio de suelos que permita verificar la capacidad portante del suelo de fundación de la zona de estudio.

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------


## 7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. McCormac y R. Brown, Design of Reinforced Concrete, Tenth Edition ed., Wiley.
- [2] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica - AIS, «NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES CCP 14».
- [3] I. Arteaga Arredondo, D. M. García , C. E. Guzmán Guzmán y J. M. Mayorga, «El Espacio Público de los Puentes Peatonales,» Urbano, Concepción, 2017.
- [4] A. Keil, Pedestrian Bridges, Ramps, Walkways, Structure, Berlin: Steffi Lenzen, 2013.
- [5] H. Reséndiz, «Georeferenciación de Puentes Peatonales en Ciudad de México y su Relación con Peatones Atropellados,» [En línea]. [Último acceso: [Consulta: 23 mayo 2020]].
- [6] Secretaría de Movilidad de Bogotá, «Análisis de accidentes viales en Bogotá en 2019,» 2019. [En línea]. [Último acceso: [Consulta: 01 junio 2020]].
- [7] Secretaría Distrital de Movilidad, «Datos Abiertos Bogotá,» 27 abril 2020. [En línea]. [Último acceso: [Consulta: 25 mayo 2020]].
- [8] World Health Organization, *Global Status Report on Road Safety*, 2015, p. 340.



 <p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia</b> FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO</p>	<p>PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B</p>	<p>FECHA: 2020 VERSIÓN 0</p>
---	--	----------------------------------

- [9] World Health Organization (WHO), «Global Status Report on Road Safety 2018,» 17 Junio 2018. [En línea]. [Consulta: 23 Mayo 2020]].
- [10] Pan American Health Organization (PAHO), *Status of Road Safety in the Region of the Americas*, Washington, D.C., 2019.
- [11] Ministerio de Transporte, «Plan Nacional de Seguridad Vial,» 2015. [En línea]. [Último acceso: [23 mayo 2020]].
- [12] Alcaldía de Bogotá, «Anuario de Siniestralidad Vial de Bogotá,» Bogotá D.C., 2018.
- [13] Secretaría Distrital de Movilidad, «Observatorio de Movilidad,» 2017. [En línea]. [consulta: 02 junio 2020]].
- [14] Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo, «Pirámide de jerarquía de la movilidad urbana,» 20 noviembre 2013. [En línea]. [Último acceso: [Consulta: 24 mayo 2020]].
- [15] Instituto de Desarrollo Urbano - IDU, «Servicios Geográficos,» 31 diciembre 2018. [En línea]. [Último acceso: 25 mayo 2020]].
- [16] I. Arteaga, M. García , C. Guzmán y M. Mayorga, «Los Pasajes del BRT en Bogotá».
- [17] A. Reis y J. J. Oliveira Pedro, *Bridge design concepts and analysis*, First edition ed., Lisboa: Wiley, 2019, p. 439.
- [18] H. Somenson, *Estudio y Proyecto de Hormigón Armado*, Ediciones Díaz de

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B	FECHA: 2020 VERSIÓN 0
---	--	--------------------------

Santos, 2015, p. 234.

- [19] F. Elivo Urbino y E. Molina Ramirez, «Topografía de Puentes y Túneles,» Santo Domingo, 2014.
- [20] E. E. M. Diaz, Ingeniería de Puentes Reseña Histórica, Tipología, Diagnóstico y recuperación, Bogotá D.C.: Editorial Pontificia Universidad Javeriana, 2012.
- [21] M. A. Khan, Bridge and Highway Structure Rehabilitation and Repair,, McGraw - Hill, 2010.
- [22] A. V. Otero, «Definiciones y Conceptos Generales».
- [23] Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, Manual de Carreteras del Paraguay, 1ra ed., 2011.
- [24] T. Yoda y W. Lin, Bridge Engineering Classifications, Desing, Loading, and Analysis Methods, Kidlington: Elsevier Inc., 2017.
- [25] H. Somenson, Estudio y protecto de puente de hormigon armado, 2015.



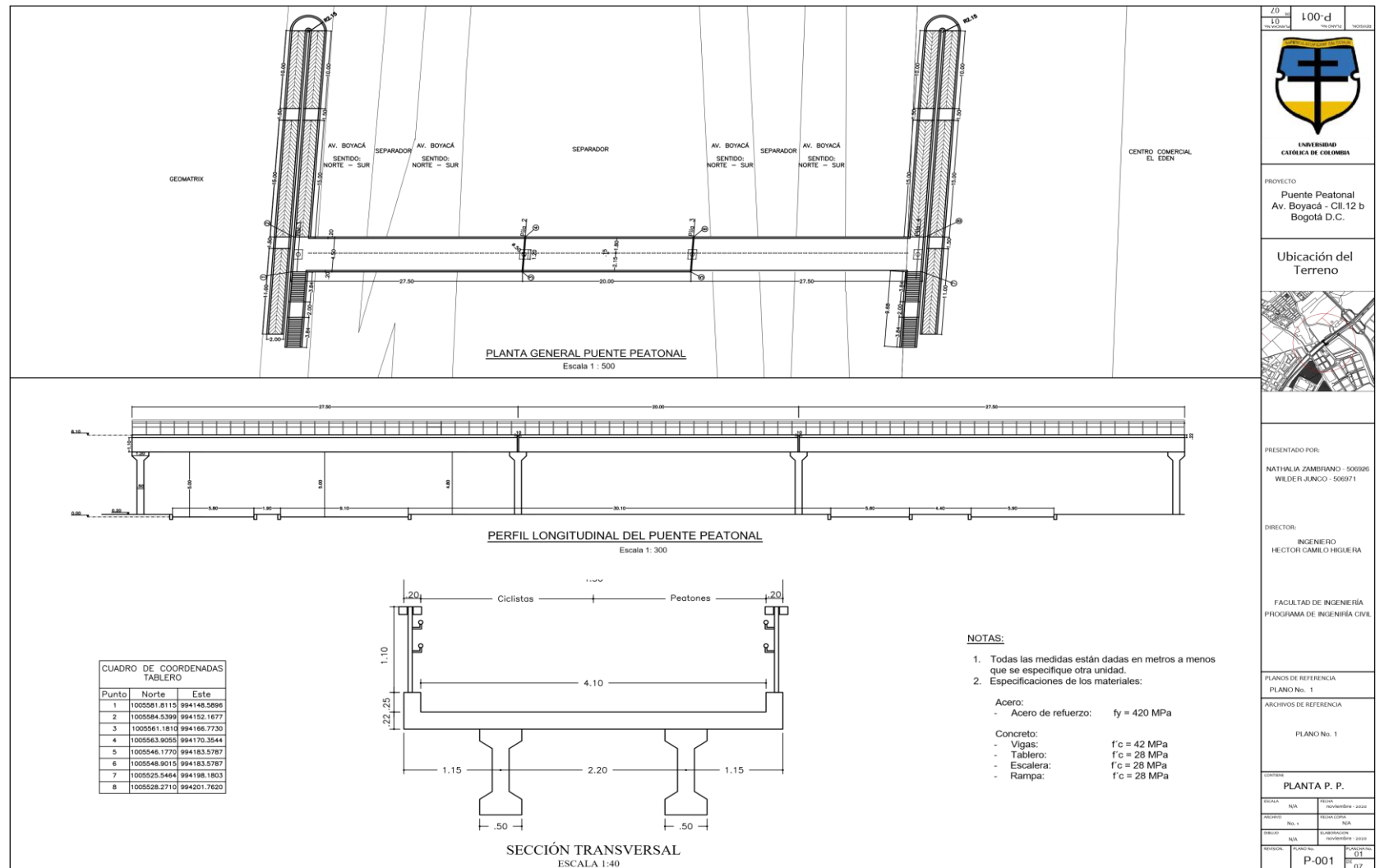
**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO

PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL  
EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B

FECHA: 2020  
VERSIÓN 0

## Anexo 1. Plano General





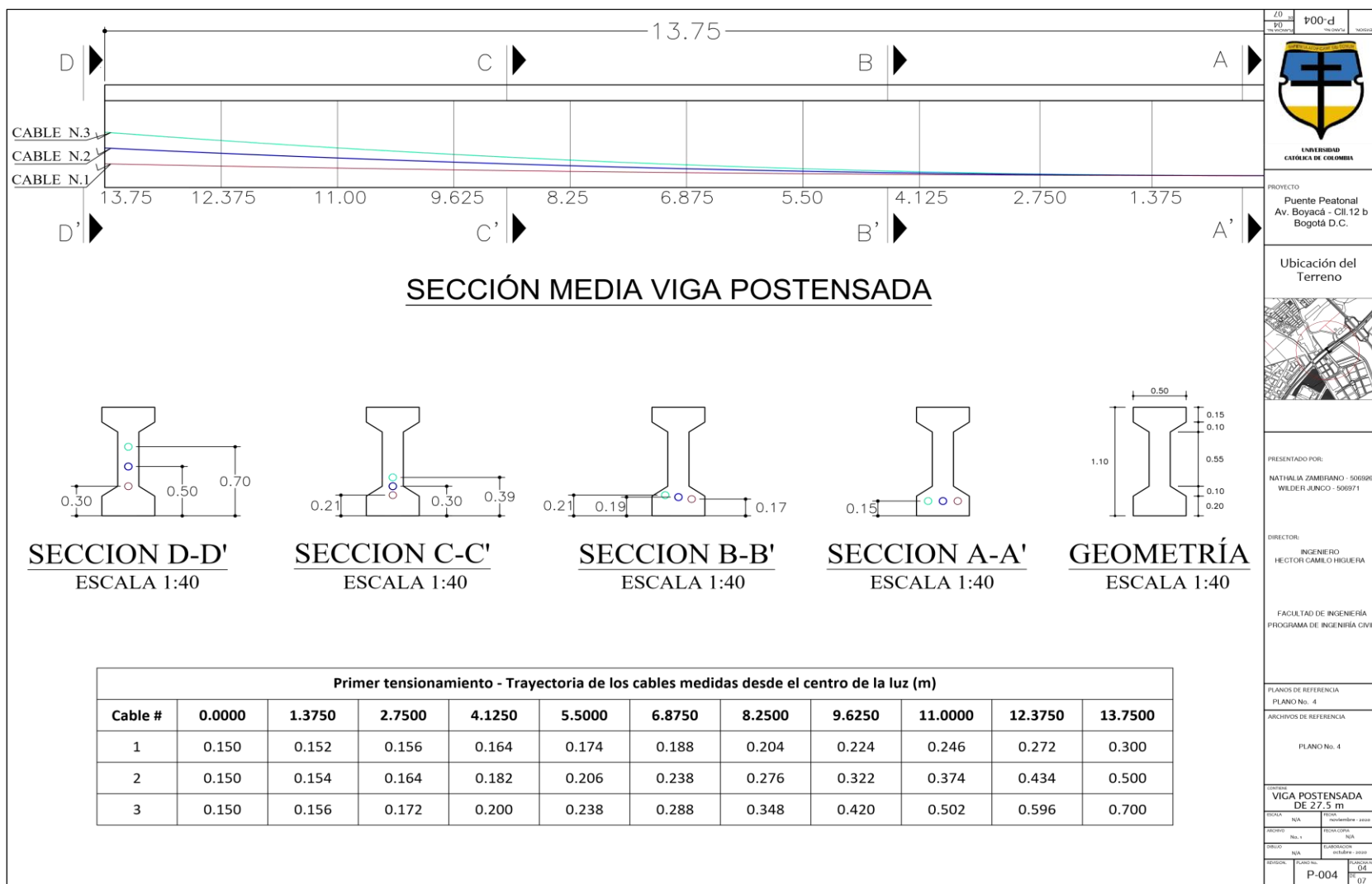
**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO

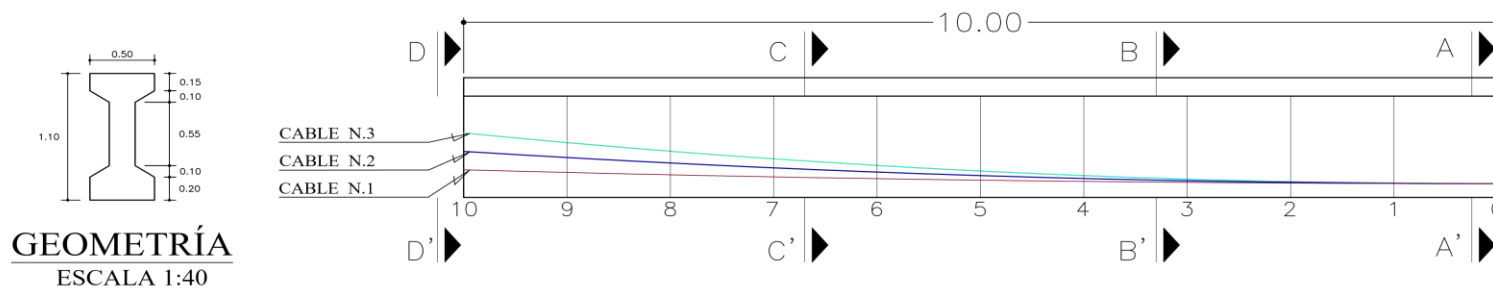
PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL  
EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B

FECHA: 2020  
VERSIÓN 0

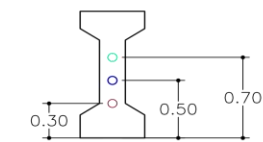
## Anexo 2. Plano de vigas de 27.50 m



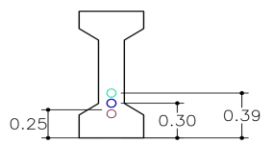
### Anexo 3. Plano de vigas de 20.00 m



## SECCIÓN MEDIA VIGA POSTENSADA



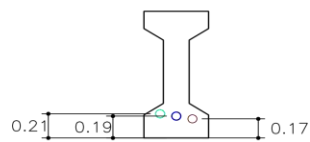
SECCION D-D'  
ESCALA 1:40



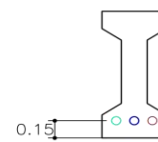
SECCION C-C'

---

ESCALA 1:40



SECCION B-B'  
ESCALA 1:40



SECCION A-A'

---

ESCALA 1:40

Primer tensionamiento - Trayectoria de los cables medidas desde el centro de la luz (m)											
Cable #	0.0000	1.3750	2.7500	4.1250	5.5000	6.8750	8.2500	9.6250	11.0000	12.3750	13.7500
1	0.150	0.152	0.156	0.164	0.174	0.188	0.204	0.224	0.246	0.272	0.300
2	0.150	0.154	0.164	0.182	0.206	0.238	0.276	0.322	0.374	0.434	0.500
3	0.150	0.156	0.172	0.200	0.238	0.288	0.348	0.420	0.502	0.596	0.700

70	50 m/hora	500'd m/hora	800'd m/hora															
 <p>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA</p>																		
<p>PROYECTO</p> <p>Puente Peatonal Av. Boyacá - Clli. 12 Bogotá D.C.</p>																		
<p>Ubicación del Terreno</p> 																		
<p>PRESENTADO POR:</p> <p>NATHALIA ZAMBRANO - 500597 WILDER JUNCO - 500571</p>																		
<p>DIRECTOR:</p> <p>INGENIERO HECTOR CAMILO FIGUEROA</p>																		
<p>FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL</p>																		
<p>PLANOS DE REFERENCIA</p> <p>PLANO No. 5</p>																		
<p>ARCHIVOS DE REFERENCIA</p> <p>PLANO No. 5</p>																		
<p>VIGA POSTENSADA DE 20 m</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>EJECUCIÓN</th><th>REA</th><th>FECHA</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>REVISIÓN</td><td>No. 1</td><td>20 de noviembre de 2011</td></tr> <tr> <td>APROBADO</td><td>REA</td><td>20 de diciembre de 2011</td></tr> <tr> <td>RELAZADO</td><td>REA</td><td>20 de febrero de 2012</td></tr> <tr> <td>REVISIÓN</td><td>Plano No. 5</td><td>ELABORACIÓN PROYECTO / 2011</td></tr> </tbody> </table> <p>P-005</p>				EJECUCIÓN	REA	FECHA	REVISIÓN	No. 1	20 de noviembre de 2011	APROBADO	REA	20 de diciembre de 2011	RELAZADO	REA	20 de febrero de 2012	REVISIÓN	Plano No. 5	ELABORACIÓN PROYECTO / 2011
EJECUCIÓN	REA	FECHA																
REVISIÓN	No. 1	20 de noviembre de 2011																
APROBADO	REA	20 de diciembre de 2011																
RELAZADO	REA	20 de febrero de 2012																
REVISIÓN	Plano No. 5	ELABORACIÓN PROYECTO / 2011																





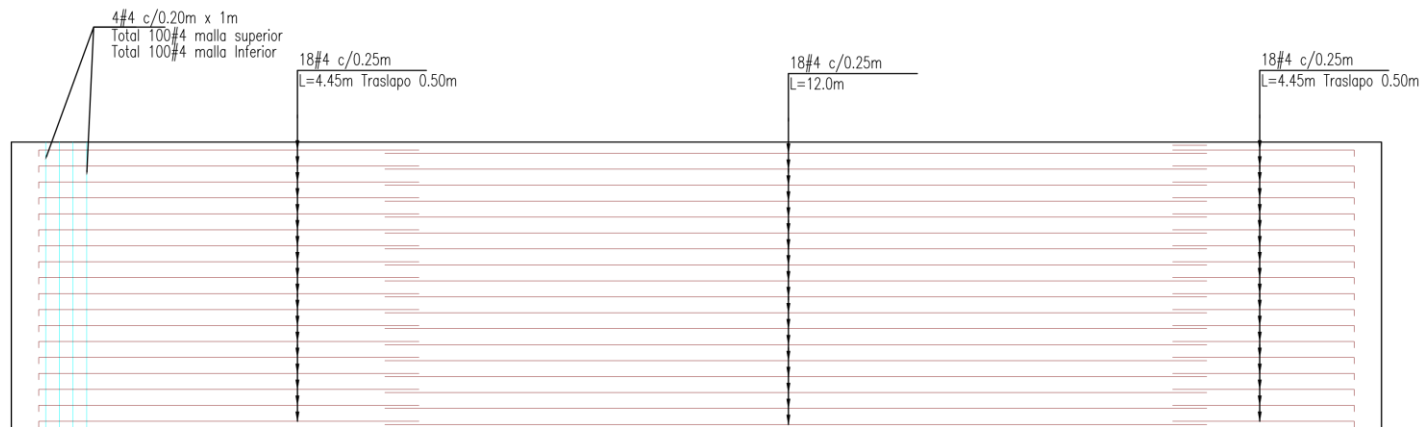
**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO

PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL  
EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B

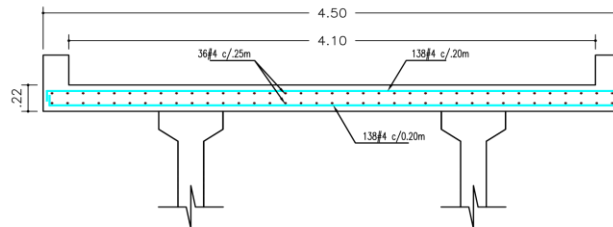
FECHA: 2020  
VERSIÓN 0

## Anexo 5. Plano de tablero de 20.00 m



### SECCIÓN DE REFUERZOS DEL TABLERO



ESCALA 1:75



### REFUERZO TABLERO

ESCALA 1:40

CUADRO DE HIERROS LOSA - TABLERO 27.5m

Item	Forma	Longitud (m)	Varilla		Cantidad (Uni)	Total (m)	Kg/m	Total (Kg)
			Diámetro (Plg)	Número				
1		4.55	1/2"	4	138	627.90	0.994	624.133
2		4.55	1/2"	4	138	627.90	0.994	624.133
3		8.35	1/2"	4	36	336.60	0.994	334.580
4		12.00	1/2"	4	18	174.24	0.994	173.195
5		8.35	1/2"	4	36	336.60	0.994	334.580
6		12.00	1/2"	4	18	174.24	0.994	173.195
TOTAL ACERO A - 706:								2263.815

#### NOTAS:

- Todas las medidas están dadas en metros a menos que se especifique otra unidad.
- Especificaciones de los materiales:

Acero:  
- Acero de refuerzo:  $f_y = 420$  MPa

Concreto:  
- Vigas:  $f'_c = 42$  MPa  
- Tablero:  $f'_c = 28$  MPa  
- Escalera:  $f'_c = 28$  MPa  
- Rampa:  $f'_c = 28$  MPa


PROYECTO Puente Peatonal Av. Boyacá - Cll. 12 b Bogotá D.C.
Ubicación del Terreno 
PRESENTADO POR: NATHALIA ZAMBRANO - 506905 WILDER JUNCO - 506971
DIRECTOR: INGENIERO HECTOR CAMILO FIGUEROA
FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
PLANOS DE REFERENCIA PLANO No. 3
ARCHIVOS DE REFERENCIA PLANO No. 3
CONTENIDO REFUERZO TABLERO DE 20 m
ESCALA: N/A FECHA: noviembre 2020
APROBADO: N/A FECHA: N/A
DISEÑO: N/A FECHA: noviembre 2020
REVISIÓN: N/A FECHA: N/A
P-003 03 07



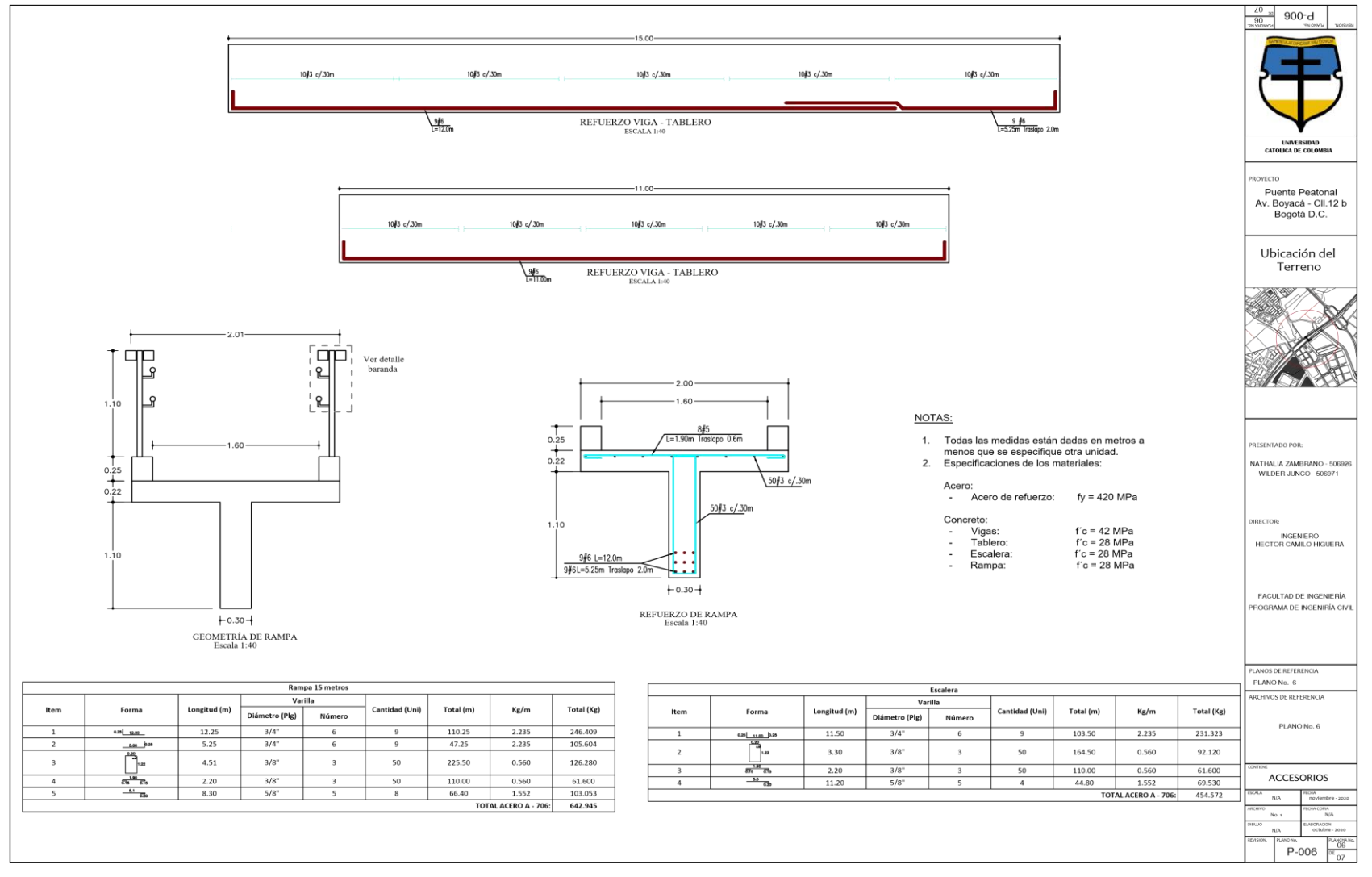
**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO

PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL  
EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B

FECHA: 2020  
VERSIÓN 0

## Anexo 6. Plano de accesorios





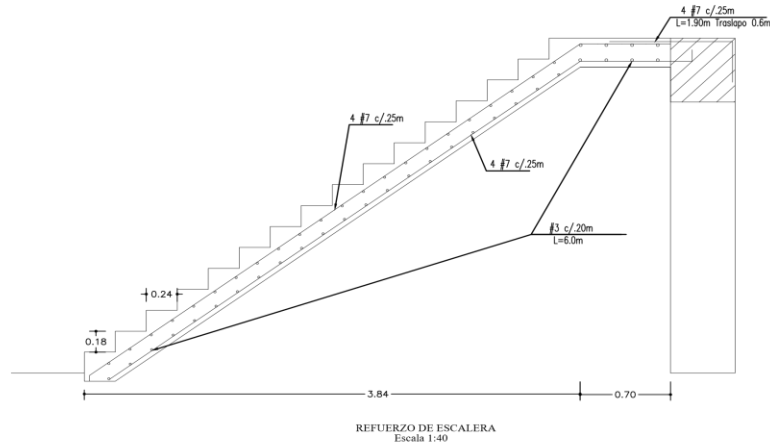


**UNIVERSIDAD CATÓLICA**  
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA  
COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO

PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL  
EN LA AV BOYACÁ CON CALLE 12B

FECHA: 2020  
VERSIÓN 0



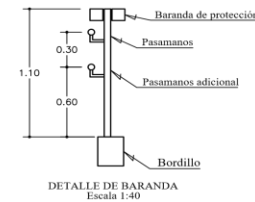
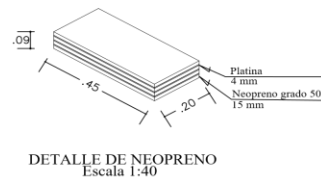
**NOTAS:**

1. Todas las medidas están dadas en metros a menos que se especifique otra unidad.
2. Especificaciones de los materiales:


Acero:  
- Acero de refuerzo:  $f_y = 420 \text{ MPa}$

Concreto:  
- Vigas:  $f'_c = 42 \text{ MPa}$   
- Tablero:  $f'_c = 28 \text{ MPa}$   
- Escalera:  $f'_c = 28 \text{ MPa}$   
- Rampa:  $f'_c = 28 \text{ MPa}$

Escalera								
Item	Forma	Longitud (m)	Varilla		Cantidad (Uni)	Total (m)	Kg/m	Total (Kg)
			Diámetro (Plg)	Número				
1		6.85	7/8"	7	8	54.80	3.042	166.702
2		6.15	7/8"	7	8	49.20	3.042	149.666
3		5.65	7/8"	7	8	45.20	3.042	137.498
4		2.20	3/8"	3	52	114.40	0.560	64.064
<b>TOTAL ACERO A - 706:</b>								<b>517.930</b>



Z0		L00-d	
Z0		L00-d	
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA			
PROYECTO			
Puente Peatonal Av. Boyacá - Cl. 12 b Bogotá D.C.			
Ubicación del Terreno			
PRESENTADO POR:			
NATHALIA ZAMBRANO - 506926 WILDER JUNCO - 506971			
DIRECTOR:			
INGENIERO HECTOR CAMILO HIGUERA			
FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL			
PLANOS DE REFERENCIA			
PLANO No. 7			
ARCHIVOS DE REFERENCIA			
PLANO No. 7			
CONTIENE			
ACCESORIOS			
ESCALA	N/A	FECHA	noviembre - 2020
PROYECTO	No. 1	REVISADO	N/A
ELABORÓ	N/A	ELABORADO	octubre - 2020
REVISOR		PROYECTO	
P-007		07	

 <b>UNIVERSIDAD CATÓLICA</b> de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA COORDINACIÓN TRABAJO DE GRADO	PROPUESTA DISEÑO DE PUENTE PEATONAL EN LA AV BOYACÁ CON CALLE12B	<b>FECHA: 2020</b> <b>VERSIÓN 0</b>
---	---	--

Anexo 7. Cálculo de viga postensada de 27.5 m

Anexo 8. Cálculo de viga postensada de 20.0 m

Anexo 9. Modelos numéricos en SAP2000